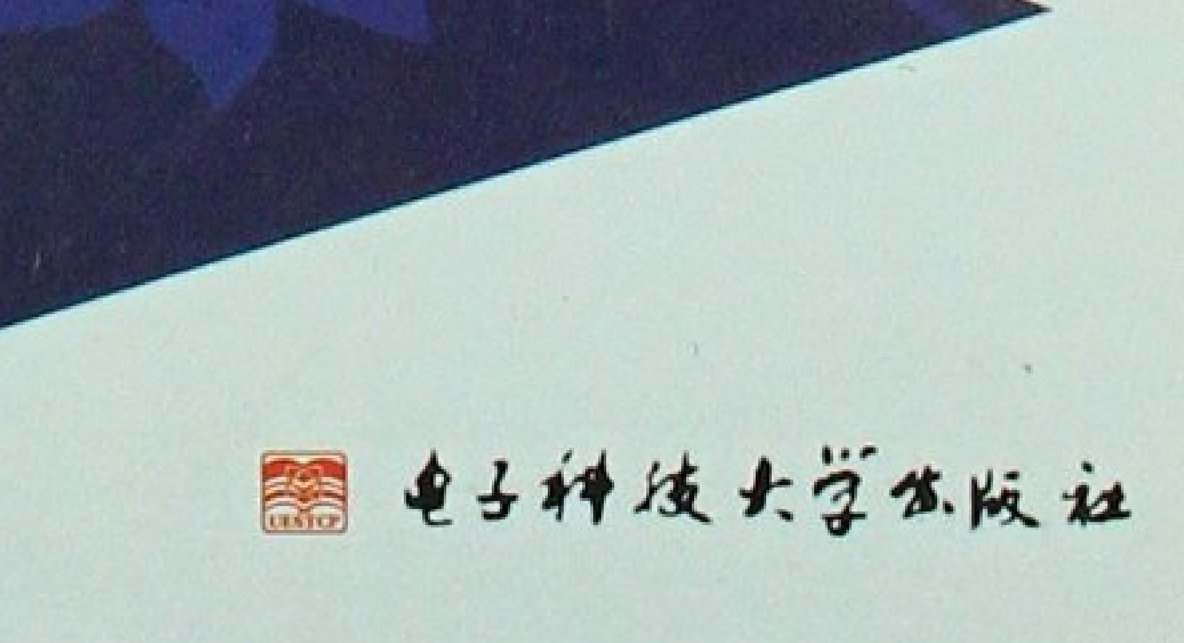
CNKI数字图书馆全文数据库收录

China Journal of Enterprise Operations Research

中国企业运筹学

2011（1）

中国运筹学会
企业运筹学分会 主编



中国企业运筹学

2011（1）

中 国 运 筹 学 会
企业运筹学分会 主编

电子科技大学出版社

图书在版编目（CIP）数据

中国企业运筹学 / 中国运筹学会企业运筹学分会编.
—成都：电子科技大学出版社，2011. 5
ISBN 978–7– 5647 –0806–1

Ⅰ. ①中…　Ⅱ. ①中…　III. ①运筹学－应用－企业管理－中国－文集　Ⅳ. ①F279.23-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2011）第 060486 号

中国企业运筹学

中国运筹学会
企业运筹学分会　主编

出　　版：电子科技大学出版社（成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦　邮编：610051）
策划编辑：谢应成
责任编辑：谢应成
主　　页：www.uestcp.com.cn
电子邮箱：uestcp@uestcp.com.cn
发　　行：新华书店经销
印　　刷：成都市火炬印务有限公司
成品尺寸：185mm×260mm　印张 9.75　字数 322 千字
版　　次：2011 年 5 月第一版
印　　次：2011 年 5 月第一次印刷
书　　号：ISBN 978–7–5647–0806–1
定　　价：50. 00 元

◆　本社发行部电话：028-83202463；本社邮购电话：028-83208003。
◆　本书如有缺页、破损、装订错误，请寄回印刷厂调换。

目　录

管理科学

工业工程

投融资理论

线性规划在长庆油田集输系统中的应用研究

孙静春[1]　赵庆宁[1, 2]　李双杰[1]
（1. 西安交通大学管理学院　陕西 西安　710049;
2. 长庆油田公司规划计划处　陕西 西安　710018）

摘　要：长庆油田是我国第二大陆上油田，随着其原油产量的急剧增加，现有的集输系统能否完成输送任务成为关键问题。本文运用运筹学中的线性规划方法分别建立了集输系统的最大流模型及最小成本最大流模型，对油田原油外输能力进行了优化分析，结果表明现有系统外输能力可以完成 2010 年的任务，但难以满足 2015 年的计划目标；建议根据模型结果对超负荷运行的管线和站点进行扩建，提升这些瓶颈的输送能力。

关键词：线性规划；集输系统；长庆油田

0　引言

我国的石油储量地理分布决定了“西油东送”的能源格局，也决定了长庆油田毋容置疑的战略地位及其对区域经济的辐射和带动作用。2009 年长庆油田油气当量超过 3000 万吨，一跃成为仅次于大庆油田的第二大陆上油气田。国务院在当年做了重要批示，长庆油田 5000 万吨油气当量发展目标是关系中国能源格局的大事。根据该目标，2015 年原油产量要达到 5000 万吨。这一输送任务对目前的长庆油田原油集输系统是一个巨大的挑战。因此，为实现长庆油田的发展目标，对现有集输系统的输送能力进行研究具有非常重要的现实意义。

国内外有许多学者对原油运输进行了的研究。从研究对象上看，李庆元[5]等(2008)借鉴供应商管理库存理论，提出新模式下油料物流配送模型，给出库存补给和动态管理一体化解决方案，比较适合于较大规模物流配送问题；高鹭[6]等(2008)则采用约束规划方法对原油调度系统模型进行描述和求解，可以较好地应用于调度过程中的非线性指标控制；王立贵[4]等(2008)针对单管道多品油顺序调度构建了连续时间MLP模型，适用于有限资源约束下单管道调动。上述的研究主要是针对油轮运输、单管道多品油运输等特定对象，与本文研究的陆地多管道原油调运网络在结构和方式上有较大差别，所以上述文献中的方法并不适用本文研究。

在研究方法上，李淑萍[7](2009)则利用图论和网络规划的理论研究海底输送系统，建立了网络最小费用流问题的非线性规划模型并将非线性费用函数线性化处理。Maryam Hamedi[8]等(2009)为使运输和分配总成本最小，构造了一个单目标、六阶段、单产品混合整数规划模型，提出使用分阶段最优求解的层次性算法。Winston Lasschuit[9]等(2004)利用供应链管理思想，解决了供应链价值曲线和供应链集成规划的问题，有助于改善石油运输中的供应链调度和规划决策。而本文研究问题侧重集输系统的输油能力，以及各管线、节点的负荷程度，这与上述研究的目标有差异。所以其研究方法也不适用于本研究。

长庆油田集输系统涉及中国西部多个省份，范围较广。它包括内外部十多家炼厂、内部的三个输油处和油气销售处、八个采油厂，以及不同层次的管线。采油厂采集的原油由输油处经管线运输到出口站，然后再由油气销售处通过管线、铁路和汽车等运送到炼厂。目前集输系统采用“生产运行处→输油处→采油厂”的三级调度管理体制，在生产管理过程中出现了上下级之间的信息不对称，生产调度缺乏科学的机制，使现有集输系统未能发挥出潜力。

长庆油田为满足日益增长的原油输送需求，主要面临以下几个问题：一是现有集输系统的最大输油能力是

作者简介：孙静春（1966-），男，河北唐山人，副教授，主要研究方向：运筹学、产业经济学；赵庆宁（1975-），男，甘肃宁县人，工程师，主要研究方向：油气生产计划管理；李双杰（1987-），男，河南漯河人，硕士研究生，主要研究方向：运筹学

多少？二是如何以最小成本来满足对原油的输送计划需求？三是提升现有集输系统输送能力的瓶颈在哪里？而现有研究在对象特征、问题特征都与本文研究不符，虽对本研究有一定的参考价值，不适合完全采纳。

1 变量与模型

本文研究问题属于陆地上多管道原油的计划输送能力规划问题，关注如何提高系统的最大输油能力，在实现计划的前提下才考虑运输成本。本文将采用线性规划模型分别建立最大流模型和最小费用最大流模型来研究原油资源配置的最佳平衡方式，确定现有管道系统的最大输油能力、最经济运输方式和应急情况下的最大调整空间，并对现有集输系统能否胜任2015年的2500万吨输油能力进行评估。在此基础上对集输系统提出科学的的统筹规划方案，并为企业制定相关的战略规划提供理论支撑。

1.1 集输系统的特征与模型假设

为简化问题，本文只对集输系统运量有较大影响的主管线进行研究，忽略流量较小数目众多的支线管线对整个集输系统运量的影响。为此，我们以集输系统76条输油线路和52个输油站（含炼厂）为对象建立集输系统的网络拓扑结构图。如附图1所示，该图有52个节点和76条有向边。52个节点可分为四类，由附表4可知，初始节点6个，负责从采油厂收油并向中间节点输油；中间节点29个，负责从上一个节点收油并输送到下一个节点；出口站节点4个，负责从中间节点收油并向各炼油厂输油；由附表2可知炼厂节点13个，负责从出口站收油。76条有向边按输送类型可分为三类：管道（最主要的输送类型）、铁路和公路，出口站节点到炼厂节点既有管道也有铁路和公路，其他站点间全是管道。初始节点、中间节点和出口站节点均为系统内节点，连接它们的管道也是系统内的边，它们属于长庆公司控制，而炼厂节点和连接出口站到炼厂的边均是系统外的，不属长庆公司调节控制，故本文研究主要针对系统内部的节点和边，而系统外部分作为外部约束条件。

由附图1可以看出该问题属于网络流问题，可以采用线性规划的方法建立模型求解，但与传统的网络图相比，本文所研究的集输系统的网络图具有以下几个特点：

（1）节点之间连接边数可能大于1；

（2）节点有四类，不同类型节点间有不同的变量属性：收油量、出油量和插输量，节点的收油量与出油量不一定相等；

（3）有向边也有三种类型，不同类型的边变量属性也不同：输油量、边长、单位成本。

节点和边的约束构成线性规划模型的约束条件，目标函数为最大流或者最小成本最大流，由于处理的问题规模较大，采用传统的线性规划求解方法如单纯形法等难以处理，因此我们利用处理大规模数据的 Premium Solver 软件来求解线性规划模型。

根据以上特点对模型的假设如下：

（1）鉴于长庆油田采油总量逐年上升但每年原油产量指标具有稳定性，原油集输系统具有良好的密闭性和长期持续运作的能力，可单独以月为时间跨度构建模型进行分析。在月度的计算跨度内，集输系统内管道流向保持不变。

（2）原油集输系统内部采油点到出口站间完全采用管道运输，忽略汽车调运的影响；出口站到炼油厂间根据实际情况选择管道、铁路或汽车运输，并考虑不同运输模式单位运输成本的差异。

（3）鉴于管道集输系统的密封性，忽略气候、地质等因素在模型中的具体影响，可将这些因素的影响集中体现在其对管道最大最小运输能力的限制上。

（4）集输系统中各管道可以正常安全运行，管道破裂、炼厂检修等突发事件作为特例在基础模型中不予以考虑。

（5）因为长庆油田原油储罐容积相对很小且已处于高位，忽略储罐等库存等集输系统原油调度的影响。

（6）长庆油田主要负责采油，在基础模型中不考虑市场油价、季节需求波动性等市场因素的影响。

（7）以输油管道和站点历史的最大值和最小值作为其输油能力的上下限，同时考虑采用加压、升温和其

他技术手段的影响，对上下限分别给定扩展系数，以上下限和其扩展系数的乘积作为实际的上下限约束。

1.2 线性规划模型

模型使用的主要变量见附表 1。根据长庆油田的政策规划等实际情况，集输系统的优化目的可分为两个目标：

（1）集输系统的月最大输油能力

$$\text{Max} \quad TQ = \sum_{i=h_{3l}}^{h_{3u}} \left(I_{3i} - O_{3i} \right)$$

（2）在满足输送要求下的月最小输送成本

$$\text{Min} \quad TC = \sum_{i=\gamma_{0l}}^{\gamma_{0u}} P_i L_i C_i$$

模型的约束条件分为两类：

1）边约束：管线实际运输能力要满足其可控运力的限制，故结构图中边的上下限约束 $K_{0li}B_{oli} \leqslant P_i \leqslant K_{0ui}B_{oui}, \gamma_{0l} \leqslant i \leqslant \gamma_{0u}$

2）节点约束

对于所有类型的节点均有三个属性，即入流量、出流量和插输量，计算公式为

入流量：$I_{si} = \begin{cases} O_{si}, h_{0l} \leqslant i \leqslant h_{0u} \\ \sum_{j=\gamma_{1l}}^{\gamma_{1u}} P_{(j,i)}, h_{1l} \leqslant i \leqslant h_{3u} \end{cases}$ ；出流量：$O_{si} = \sum_{j=\gamma_{1l}}^{\gamma_{1u}} P_{(i,j)}, \gamma_{1l} \leqslant i \leqslant \gamma_{1u}$

以上两式中 $s \in \{0,1,2,3\}; P_{(i,j)} = \sum_{t=\gamma_{0l}}^{\gamma_{0u}} P_t \lambda_{(t,i)} \lambda_{(t,j)} R_{(i,j)}$ ，$P_{(i,j)}$ 中的下标 (i,j) 表示节点下标；$\lambda_{(t,i)}$ 中的下标 (t,i) 表示边与节点对应关系。

插输量：$Q_i = O_{1i} - I_{1i}, \delta_l \leqslant i \leqslant \delta_u$ ；

节点的这三个指标约束条件为

若 s=0 即为初始节点时有 $B_{1li}K_{1li} \leqslant I_{0i} = O_{0i} \leqslant B_{1ui}K_{1ui}$ ，$h_{0l} \leqslant i \leqslant h_{0u}$ ；

若 s=1 即为中间节点时有 $B_{1li}K_{1li} \leqslant I_{1i} \leqslant O_{1i} \leqslant B_{1ui}K_{1ui}$ ；$h_{1l} \leqslant i \leqslant h_{1u}$ ；$B_{2li} \leqslant Q_i \leqslant B_{2ui}, \delta_l \leqslant i \leqslant \delta_u$ ；

若 s=2 即为出口站节点时有 $B_{1li}K_{1li} \leqslant I_{2i} = O_{2i} \leqslant B_{1ui}K_{1ui}$ ；$h_{2l} \leqslant i \leqslant h_{2u}$ ；

若 s=3 即为炼厂节点时有 $B_{1li}K_{1li} \leqslant O_{3i} \leqslant I_{3i} \leqslant B_{1ui}K_{1ui}$ ，$h_{3l} \leqslant i \leqslant h_{3u}$ ；

1.3 模型相关参数取值

考虑到长庆油田是上产油田，内部管道网络管道利用率会逐步提高，故将下限调整系数设定为 1，即管道实际输油能力不小于历史下限值；同时，正如在模型假设中提到的一样，管道原油运输存在大量使用减阻剂和加压等增大原油输送能力的情况，经过与长庆油田规划设计部门的核算确认，管道上限调整系数设定为 1.6 较为合适。对于内部管道网络的节点，即站点而言，大多数节点与多个管道相连，且很多具有插输能力，需要具备较强的调整空间和弹性能力，结合实际运行情况，将其下限调整系数设定为 0.4，上限调整系数设定为 1.77。

对于从终端节点向炼厂输油的网络部分，由于长庆油田自身没有控制权限，只能与各炼厂、铁路部门等进行沟通协调，调整能力较弱，故将各炼厂上下限系数等都设定为 1，且终端节点与炼厂间各运输方式的上下限调整系数也设定为 1，也比较符合现实状况。

因为华北石化、荆门石化、石家庄石化以后不再从长庆油田调送原油，所以三个炼厂的上下限调整系数全部设定为 0，以符合现实需要。兰州石化、咸阳石化、宁夏炼化由于中石油政策调整，其实际月度下限约束分别调整为 35、40 和 25，不再受整个网络结构中上下限调整系数的影响。

为了考察系统的运输成本，结合实际情况，本文假设管道、铁路、汽车的单位运量单位距离的输送成本分别为 1 虚拟元、1.7 虚拟元和 2.5 虚拟元。同时用实际流量与其最大值之比即负荷因子来反映管线和站点的实际利用情况。

2　模型求解及结果分析

2.1　模型结算结果

（1）最大流目标的计算结果

为考察现有集输系统能否完成计划原油输送任务，必须了解现有系统的最大输油能力。为此，我们先取目标函数最大流，同时满足边和节点的约束条件，具体模型为

$$\text{Max} \quad TQ=\sum_{i=h_{3l}}^{h_{3u}}\left(I_{3i}-O_{3i}\right)$$

$$\begin{cases} K_{0li}B_{0li}\leqslant P_i\leqslant K_{0ui}B_{0ui},\gamma_{0l}\leqslant i\leqslant\gamma_{0u} \\ K_{1li}B_{1li}\leqslant I_{0i}=O_{0i}\leqslant K_{1ui}B_{1ui},h_{0l}\leqslant i\leqslant h_{0u} \\ K_{1li}B_{1li}\leqslant I_{1i}\leqslant O_{0i}\leqslant K_{1ui}B_{1ui},h_{1l}\leqslant i\leqslant h_{1u} \\ B_{2li}\leqslant Q_i\leqslant B_{2ui},\delta_l\leqslant i\leqslant\delta_u \\ K_{1li}B_{1li}\leqslant I_{2i}=O_{2i}\leqslant K_{1ui}B_{1ui},h_{2l}\leqslant i\leqslant h_{2u} \\ K_{1li}B_{1li}\leqslant O_{3i}\leqslant I_{3i}\leqslant K_{1ui}B_{1ui},h_{3l}\leqslant i\leqslant h_{3u} \\ I_{si},O_{si},Q_i\in R^+,s\in\{0,1,2,3\},\gamma_{1l}\leqslant i\leqslant\gamma_{1u} \end{cases}$$

系统的月最大输送能力为 173.2 万吨，平均年最大流量为 2078 万吨，运输成本为 103 387.16 虚拟元。由最大流结果可知现有集输系统能够满足 2010 年 1850 万吨的输送要求，但是不能满足 2015 年的 2500 万吨的输送要求。下面针对 2010 年的输送要求，建立最小成本模型求解集输系统如何在完成输送任务情况下实现运输费用最小化。

（2）最小成本目标的计算结果

在满足年实际外输量不小于年计划外输量 1850 万吨的前提下，寻求实现集输系统整体运输成本最小化的求解方案。为此，将目标函数设为最小成本，同时满足边和节点的约束条件，且年总外输量不小于计划任务，具体数学模型为

$$\text{Min} \quad TC=\sum_{i=\gamma_{0l}}^{\gamma_{0u}}\mathrm{P}_iL_iC_i$$

$$\begin{cases} TQ=\sum_{i=h_{3l}}^{h_{3u}}\left(I_{3i}-O_{3i}\right)\geqslant TP \\ K_{0li}B_{0li}\leqslant P_i\leqslant K_{0ui}B_{0ui},\gamma_{0l}\leqslant i\leqslant\gamma_{0u} \\ K_{1li}B_{1li}\leqslant I_{0i}=O_{0i}\leqslant K_{1ui}B_{1ui},h_{0l}\leqslant i\leqslant h_{0u} \\ K_{1li}B_{1li}\leqslant I_{1i}\leqslant O_{0i}\leqslant K_{1ui}B_{1ui},h_{1l}\leqslant i\leqslant h_{1u} \\ B_{2li}\leqslant Q_i\leqslant B_{2ui},\delta_l\leqslant i\leqslant\delta_u \\ K_{1li}B_{1li}\leqslant I_{2i}=O_{2i}\leqslant K_{1ui}B_{1ui},h_{2l}\leqslant i\leqslant h_{2u} \\ K_{1li}B_{1li}\leqslant O_{3i}\leqslant I_{3i}\leqslant K_{1ui}B_{1ui},h_{3l}\leqslant i\leqslant h_{3u} \\ I_{si},O_{si},Q_i\in R^+,s\in\{0,1,2,3\},\gamma_{1l}\leqslant i\leqslant\gamma_{1u} \end{cases}$$

系统整体运输成本最小为 62 011.76 个虚拟元。集输系统各部分求解情况分析如附表 3 所示。该表中的负荷系数（代表优化结果与上限的比值）可知道管道的实际利用率。可知大部分管道的使用情况都很不理想，一部分需要添加减阻剂等超负荷运行，更多的是实际利用能力不到设计能力的 50%，具体数值如图 1 所示。

上述数据均值为 0.66，标准差为 0.39，说明管道网络建设存在盲目性，缺乏科学规划，导致部分管道运力不足及其他管道资源的浪费。其中，明显超负荷运行的两条管线是“华池站—曲子首站”管线（P19）和“沿河湾输油站—杨山站”管线（P9）；使用率明显偏低的管线主要集中在姬白线（P29、P30）、西马线（P21）、姬马线（P37、P38）和马惠线（P39、P40）等。这些说明集输系统存在结构性制约。

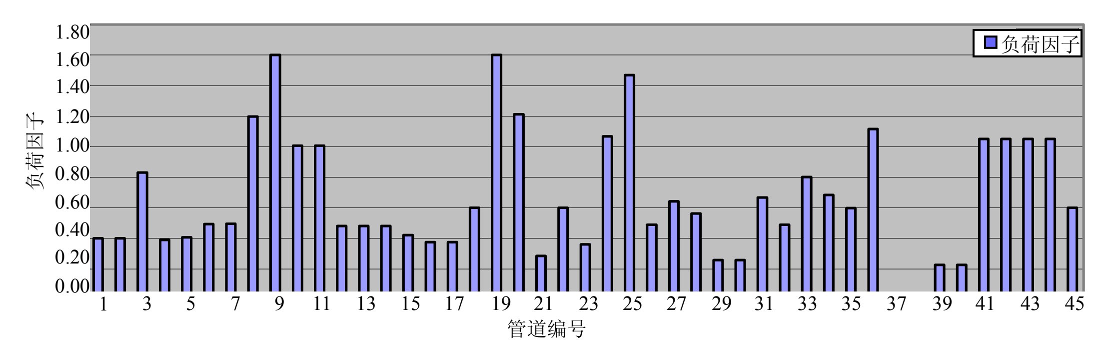


图 1 最小成本模型系统内部管道负荷系数分布图

有关内部管道节点的参数及模型计算结果如附表 4 所示，与内部管道结果类似，内部管道节点负荷系数大于 1 或者小于 0.5 的占多数，具体可如图 2 所示。

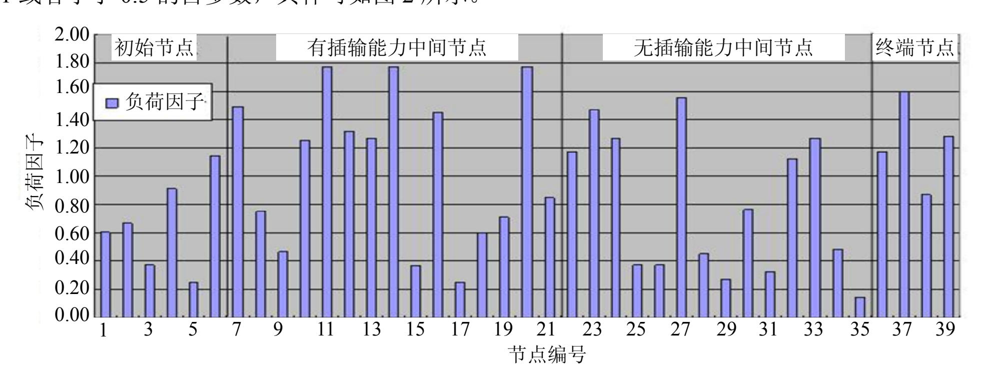


图 2 最小成本模型管道节点负荷系数分布图

其均值为 0.92，标准差为 0.5，与管道部分的负荷系数分布（均值为 0.66，标准差为 0.39）相比，整体利用率较高，但是标准差更大，通过图表可以发现，管道节点负荷系数的分布变化更大，更多管道节点或者超负荷运行，或者利用率不足，也说明各管道站点的建设缺乏整体考虑，多是单独运作，相互间协调性较差。

2.2 两种目标计算结果的比较

目标函数分别为最大流和最小成本时内部管线的负荷因子分布对比如图 3 所示。

有多个站点的负荷系数在最小成本模型下与最大流模型下数值不同：P4（王窑站集中处理站—沿河湾输油站）负荷系数后者较前者增加 1.2，P5、P6（两条沿河湾输油站－杨山站）负荷系数分别增加 1.19、1.11，P18（白豹站－华池站）负荷系数增加 1.0，P37（姬一联合站－马坊插输站）负荷系数增加 0.76，另外 P8（王窑站集中处理站—沿河湾输油站）负荷系数减少 0.71，P9（沿河湾输油站－杨山站）负荷系数减少 0.99。由于 P4、P5、P6、P8、P9 均为王窑站集中处理站—沿河湾输油站－杨山站管线，三增二减，这五条管线的变化相互抵消，暂不考虑。P18“吴一联合站—白豹输油站”之间的管线负荷系数由 0.6 急增至 1.6，说明实现最大流的关键在于增加“吴一联合站－白豹输油站”之间的输油能力。此外，对最大流模型而言，负荷系数的均值为 0.75，样本总体的标准偏差为 0.43，两项指标均比与以最小成本为目标的相应指标大，说明最大流时管线利用率变高，但波动性也随着变大，影响系统运输能力的瓶颈在于其内部的结构性制约。

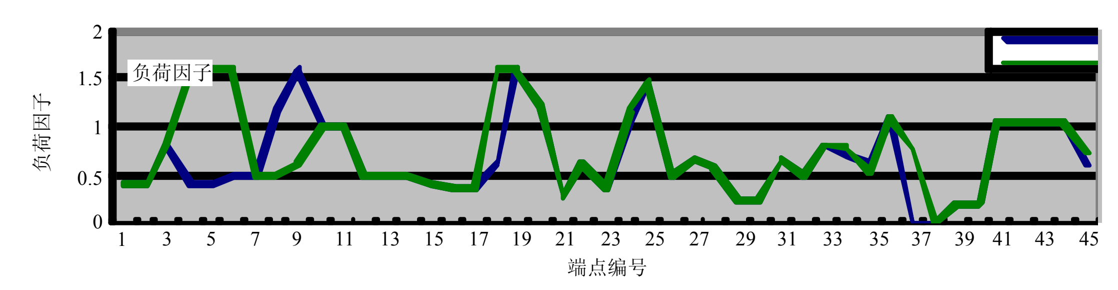


图 3　两种情况分析对比图

3　系统瓶颈分析

通过对附表 3 和附表 4 中最大流模型是管线和节点的负荷系数可以将管线和节点分为三类：负荷系数在 1 左右，正常运行；负荷系数小于 0.3，未充分利用；负荷系数大于 1.4（站点为 1.5），超负荷运行。相关指标的分析可得到如下结论：

（1）自身能力有限超负荷运行的管线

1）靖马线中“白豹站—华池站—曲子首站”之间管线（P18、P19）；

该段管线负荷因子为 1.60，分析其原因，曲子首站有两个出油方向，一个是沿西马线南输，一个是沿马惠线北输。“曲子首站—马岭中集站”为Φ 219×5.2 管线，“曲子首站—惠安堡站”之间为Φ 323×7 管线，能力要比“华池站—曲子首站”的Φ 168.3×5 管线高很多。但是由于曲子首站的来油方向只有华池站，因此导致了马惠线、西马线远不能发挥其重要作用。

2）铁西线中的“铁西首站—吴一联合站”之间的管线（P25）。

该管线负荷因子为 1.47，究其原因，主要是下游的“吴一联合站—白豹输油站”之间的管线为Φ273.1×5.6，铁西线中白豹输油站至下游的管线均为Φ 377×6.4，而“铁西首站—吴一联合站”之间的管线仅为Φ 168.3×5，这样就造成了此管线的负荷因子已达 1.47，而下游的管线负荷因子才为 0.48 和 0.64。

3）安延线中的“王窑站—沿河湾输油站—杨山站”之间的管线（P4、P5、P6）；

这两段管线的负荷因子分别为 1.59 和 1.6，由附图 1 可以看出沿河湾输油站作为中间节点，上游有三条管线向其供油，下游有三条管线向外输油，上游管线 P4 负荷因子为 1.59，另外两条上游管线 P3 和 P8 负荷因子分别为 0.83 和 0.49，下游管线 P5 和 P6 负荷因子均为 1.60，另外一条下游管线 P9 负荷因子为 0.61，可以分别调整 P4 的部分输油任务到 P3 和 P8，P5 和 P6 的部分输油任务到 P9，使这 6 条管线的负荷因子均在 1 左右，避免超负荷运行，经验证调整后最大输油量不变。

（2）结构性制约的管线

1）西马线的Φ273×6 管道（P21）和马惠线的“曲子首站—木一计量接转站—环北集油站”的管线（P39、P40）；

西马线负荷因子只有 0.29，马惠线的“曲子首站—木一计量接转站—环北集油站”的两条管线的负荷因子只有 0.23，能力远远没有发挥出来，究其原因，其主要是从曲子首站来油，而曲子站的收油能力受到靖吴华线的制约，导致了曲子站收不到油，向北输马惠线和向南输的西马线的能力均不能得到有效发挥。

2）姬白线（P29、P30）

姬白线两条管线的负荷因子都只有 0.24，其原因主要姬白线虽然为Φ 273×6.4 的管线，但姬二联—姬一联的输油管线仅为Φ159×5，导致了姬白线的能力得不到有效发挥。

3）姬马线（P37、P38）

姬马线有两条管线，一条管线负荷因子为 0，另外一条管线负荷因子为 0.76，姬马线处于半停输状态，究其原因，是在姬惠线建成之前，姬马线输油压力很大，但Φ377×6.4 姬惠线建成后，大大减轻了姬一联的压力，姬马线无油可输。

（3）超负荷运行的站点

1）姬一联合站（N7）

姬一联合站的负荷因子为 1.50，原因主要是姬塬油田的原油大部分及姬白线原油均集中到姬一联合站。

2）姬二联合站（N14）

姬一联合站的负荷因子为 1.77，姬一联合站与姬二联合站之间只有唯的一条Φ159×5 管线相连接，导致了上游的很多站点的能力远没有发挥出来（乔川站的负荷因子为 0.32）。

3）东营站（N11）

东营站的负荷因子为 1.77，主要原因是因为化子坪站、坪桥站两个点来的油均输送到东营站，除此之外，其本身也会收油，所以处于超负荷运行状态。

4）油房庄站（N20）

靖惠线的管线 P32 向油房庄站供油，P33 向外输油，两条管线的负荷因子分别为 0.49 和 0.8，并未超负荷运行，故是油房庄站自身的能力较低导致其超负荷运行。

5）沿河湾输油站（N22）

有三条管线从上游只向沿河湾输油站供油，三条管线向外输油，且这六条管线部分处于超负荷运行状态，导致沿河湾处于超负荷运行状态。

6）马坊插输站（N27）

有三条管线从上游向马坊插输站供油，一条管线向外输油，这些管线均为超负荷运行，可以调节 P38 和 P37 的输油任务到管线 P35，减少上游对马坊插输站的供油，可以部分缓解其压力。

7）王窑站（N3）

作为初始节点，王窑站直接从油田收油，然后向下游供油，可以减少其收油量或者对其进行扩建来避免其超负荷运行。

8）杨山站（N36）和延炼分输站（N37）

这两个站点均为出口站点，负责向炼厂输送原油，这就决定了它们的任务是固定的，不能随意调整，只能通过对其进行扩建来避免超负荷运行。

（4）结构性制约的站点

假定站点负荷系数小于 0.3 的站点为未发挥出应有能力的站点。铁西首站（N5）、吴一联合站（N17）、木一计量站（N29）和马岭中集站（N35）的负荷因子均小于 0.3，主要原因是站点能力大于所连接管线的能力，使站点的能力未充分发挥。

由以上的分析可知，造成站点超负荷或为未充分利用的原因主要是这些站点与其相连接的管线能力不匹配，站点能力大于管线能力时站点会出现未充分利用的现象，反之站点则会超负荷运行。而造成管线超负荷运行或未充分利用的原因除了可控的技术性调配外，最主要的是相邻管线间能力不匹配，譬如上游管线能力大于下游管线时会使下游管线超负荷运行，或使上游管线未充分利用。

这些情况说明现有集输系统不够完善，缺乏科学系统的管理。在新建、改建新站点的时候，需要从整体上设计、规划管线和站点的能力，并使其能力匹配。为了增加输油能力，必须扩充以下超负荷管线和站点的输油能力：靖马线和铁西线；姬一联合站、姬二联合站、东营站、油房庄站、沿河湾输油站、马坊插输站、杨山站和延炼分输站。

4　小结

本文通过分析长庆油田现有集输系统的网络结构，分别建立了最大流模型和最小成本最大流模型，模型结果表明现有集输系统的年运输最大流为 2078 万吨，可以满足 2010 年生产计划运输的 1850 万吨的要求，但不能满足 2015 年 2500 万吨的计划运输需求。

由瓶颈分析可知，原油集输系统的核心是各管线和节点之间的能力匹配问题，尽可能地保证整个系统各部分均衡运行是优化的关键。模型结果表明超负荷运行的管线和站点如下：靖马线和铁西线；姬一联合站、姬二联合站、东营站、油房庄站、沿河湾输油站、马坊插输站、杨山站和延炼分输站。

对计算结果得到的超负荷运行管线和站点进行逐步扩建，就能满足逐年增加的输油任务，同时维持或降低管线和站点的负荷因子，避免系统的超负荷运行。

本文的模型参数源于在集输系统运营的历史数据，对历史数据有依赖性。需要逐年更新模型参数，才能测算出不同时期管线和节点的负荷因子。此环节可以在模型基础上编制参数接口的管理软件，方便修改模型，适应环境变化的需要。

参考文献

[1] 刘金兰，王亮．长输原油管道风险分析神经网络的应用[J]．油气储运，2005，24（5）：1-5

[2] 孟振虎，陈毅忠，冷枝．不同约束值变化对输油管道优化运行的影响[J]．油气储运，2003，22（4）：1-7

[3] 徐严波，徐严义，赵金洲．MDCP 法在输油管道优化运行中的应用[J]．油气储运，2002，21（12）：19-22

[4] 王立贵．单管道多油品顺序运输的调度优化[J]．西安交通大学学报，2008，28（5）：32-38

[5] 李庆元，李苏剑．一种新的基于供应商管理库存的成品油物流配送模型[J]．中国石油大学学报，2008，32（6）：161-164

[6] 高骜，郭锦标，杨明诗．原油调度的约束规划模型[J]．石油学报，2008，24（2）：163-169

[7] 李淑萍．海底油气集输系统网络流规划模型设计[J]．油气储运，2009，28（4）：22-24

[8] Maryam Hamedi，Reza Zanjirani Farahani，Mohammad Moattar Huasseini．A distribution planning model for natural gas supply chain：A case study[J]．Energy Policy，2009，37：799-812

[9] Winston Lasschuit，Nort Thijssen．Supporting supply chain planning and scheduling decisions in the oil and chemical industry[J]．Computers & Chemical Engineering，2004，28：863-870

The Research of LP in Changqing Oil Field Gathering System

Sun Jing-chun[1]，Zhao Qing-ning[1, 2]，Li Shuang-jie[1]

(1. School of management，Xi’an Jiaotong University，Xi’an Shaanxi，710049;

2. Planning department of Changqing oil field，Xi’an Shaanxi，710018，China)

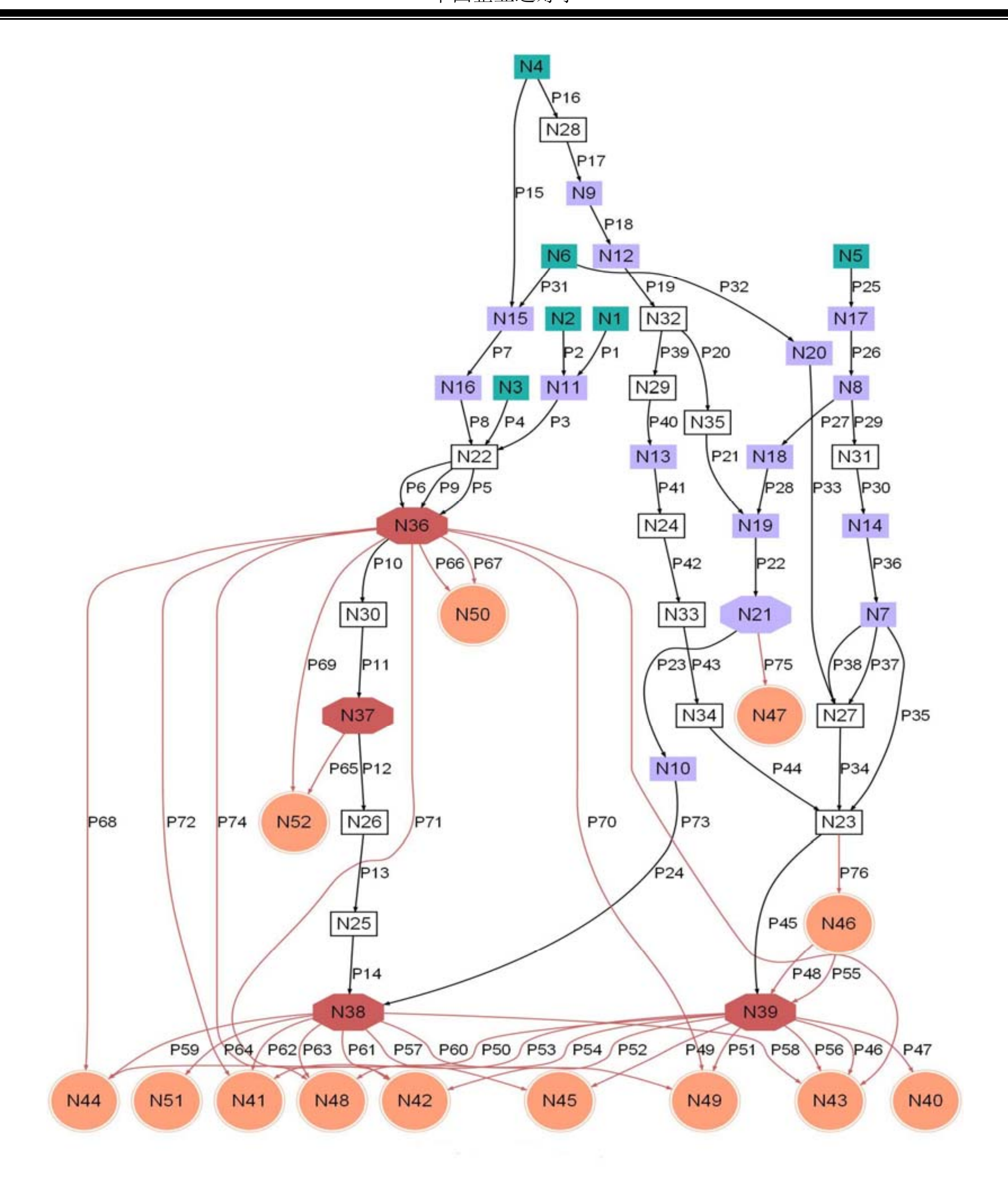
Abstract：Changqing Oil Field is the second biggest oil field of China，the present transportation capacity of gathering system will be a critical problem with the increasing oil production. With the help of Linear Programming，Maximal Flow Model and Minimum Cost Maximum Amount Model are built to analyze the optimal solution on the gathering system. The results show that the present gathering system can complete the transportation task of 2010，but can’t deal with that of 2015. Based on this analysis，it is recommended that some reformation should be taken to those overloaded pipelines and nodes to expand the transportation capabilities.

Keywords: LP; Gathering system; Changqing Oil Field

附　　录

附表 1　变量参数表

$P_{(i,j)}$	由节点 i 到节点 j 的流量
P_i	边 i 的流量
B_{tmi}	边、节点或插输能力的上下限。t=0 表示边，t=1 表示节点，t=2 表示插输量；m=l 表示下限，m=u 表示上限，i 为边或者节点或插输点的标号
K_{tmi}	边、节点的设计能力上下限调整系数。t=0 表示边，t=1 表示节点；m=l 表示下限，m=u 表示上限，i 为边或者节点或插输点的标号
I_{si}	节点入流量。s=0 表示初始节点，s=1 表示中间节点，s=2 表示出口站节点，s=3 表示炼厂节点；i 为节点的标号。
O_{si}	节点出流量。s=0 表示初始节点，s=1 表示中间节点，s=2 表示出口站节点，s=3 表示炼厂节点；i 为节点的标号。
Q_i	节点插输量。i 为节点的标号。
TQ	集输系统月对外输油总量（吨）
TC	集输系统月调度运输总成本（虚拟元）
L_i	边长度（千米）
C_i	边单位运量单位距离运输成本（虚拟元/千米·吨）
$R_{(i,j)}$	节点 i 到节点 j 是否相邻联通，值为 1 表示联通，0 表示不联通。（见附图 1）
$\lambda_{(t,i)}$	边 t 与节点 i 相关性。值为 1 表示边 P_t 以节点 i 为起点或终点，值为 0 表示边 P_t 不以节点 i 为起点或终点（见附图-1）
h_{sm}	节点类型编号上下限。s=0 表示初始节点，s=1 表示中间节点，s=2 表示出口站节点，s=3 表示炼厂节点。m=l 表示下限，m=u 表示上限（见附表 4）
δ_m	有插输能力节点编号上下限。m=l 表示下限，m=u 表示上限（见附表 4）
γ_{tm}	边或节点编号上下限。t=0 表示边，t=1 表示节点；m=l 表示下限，m=u 表示上限（见附图 1）



附图 1　集输系统的网络拓扑结构图

附表 2　炼厂节点来油情况表

编号	炼厂名称	来油情况
N40	呼和浩特石化	石空站通过 P47 向其输油
N41	华北石化	石空站、咸阳站、杨山站分别通过 P53、P62、P72 向其输油
N42	荆门石化	石空站、咸阳站、杨山站分别通过 P52、P61、P71 向其输油
N43	兰州石化	石空站、咸阳站、杨山站分别通过 P46 和 P56、P58、P73 向其输油
N44	洛阳炼厂	石空站、咸阳站、杨山站分别通过 P50、P59、P68 向其输油
N45	南充炼厂	石空站、咸阳站分别通过 P49、P57 向其输油

（续表）

编号	炼厂名称	来油情况
N46	宁夏炼化	其通过 P48 和 P55 向石空站输油；惠安堡站通过 P76 向其输油
N47	庆阳石化	西二联站通过 P75 向其输油
N48	山东各石化厂	石空站、咸阳站、杨山站分别通过 P54、P63、P74 向其输油
N49	石家庄炼厂	石空站、咸阳站、杨山站分别通过 P51、P60、P70 向其输油
N50	西安石化厂	杨山站通过 P66、P67 向其输油
N51	咸阳石化	咸阳站通过 P64 向其输油
N52	延安炼厂	延炼分输站、杨山站分别通过 P65、P69 向其输油

附表 3　系统内部管线参数及模型结果表

编号	分类	起点	终点	输送量（最小成本/最大流）（万吨）	负荷系数（最小成本/最大流）
P1	安延线	化子坪站	东营站	2.00/2.00	0.40/0.40
P2		坪桥站	东营站	2.00/2.00	0.40/0.40
P3		东营站	沿河湾输油站	8.85/8.85	0.83/0.83
P4		王窑站	沿河湾输油站	15.12/32.49	0.39/1.59
P5		沿河湾输油站	杨山站	5.00/19.65	0.41/1.60
P6		沿河湾输油站	杨山站	18.46/20.00	0.49/1.60
P7	靖咸线	靖安首站	王窑站集中处理站	9.00/7.00	0.49/0.49
P8		王窑站集中处理站	沿河湾输油站	11.50/7.00	1.20/0.49
P9		沿河湾输油站	杨山站	12.01/8.68	1.60/0.61
P10		杨山站	洛川站	22.00/26.84	1.01/1.01
P11		洛川站	延炼分输站	22.00/26.84	1.01/1.01
P12		延炼分输站	宜君站	10.00/10.00	0.48/0.48
P13		宜君站	耀县站	10.00/10.00	0.48/0.48
P14		耀县站	咸阳站	10.00/10.00	0.48/0.48
P15	靖马线	吴旗首站	靖安首站	2.00/2.00	0.42/0.42
P16		吴旗首站	马营站	2.00/2.00	0.38/0.38
P17		马营站	白豹站	2.00/2.00	0.38/0.38
P18		白豹站	华池站	4.00/8.53	0.60/1.6
P19		华池站	曲子首站	13.20/13.20	1.60/1.6
P20		曲子首站	马岭中集站	10.00/10.00	1.21/1.21
P21	西马反输线	马岭中集站	西一联站	10.00/10.00	0.29/0.29
P22	庆咸线	西一联站	西二联站	29.00/25.00	0.60/0.60
P23		西二联站	彬县清管站	16.00/15.00	0.36/0.36
P24		彬县清管站	咸阳站	43.00/49.13	1.07/1.18
P25	铁西线	铁西首站	吴一联合站	6.12/6.12	1.47/1.47
P26		吴一联合站	白豹输油站	8.12/6.12	0.49/0.49
P27		白豹输油站	悦乐输油站	15.00/15.00	0.64/0.64
P28		悦乐输油站	西一联站	17.00/15.00	0.56/0.56
P29	姬白线	白豹输油站	乔川站	5.43/3.23	0.26/0.26
P30		乔川站	姬二联合站	5.43/3.23	0.26/0.26

（续表）

编号	分类	起点	终点	输送量（最小成本/最大流）（万吨）	负荷系数（最小成本/最大流）
P31	靖安反输线	靖惠首站	靖安首站	5.00/5.00	0.67/0.67
P32	靖惠线	靖惠首站	油房庄站	10.16/10.16	0.49/0.49
P33		油房庄站	马坊插输站	23.36/23.36	0.80/0.80
P34		马坊插输站	惠安堡站	23.36/26.55	0.68/0.78
P35	姬惠线	姬一联合站	惠安堡站	22.43/19.25	0.60/0.51
P36	姬塬反输线	姬二联合站	姬一联合站	7.43/7.43	1.12/1.12
P37	姬马线	姬一联合站	马坊插输站	0.00/3.19	0.00/0.76
P38		姬一联合站	马坊插输站	0.00/0.00	0.00/0.00
P39	马惠线	曲子首站	木一计量接转站	3.20/3.20	0.23/0.23
P40		木一计量接转站	环北集油站	3.20/3.20	0.23/0.23
P41		环北集油站	洪德热泵站	14.90/14.9	1.05/1.05
P42		洪德热泵站	山城热泵站	14.90/14.9	1.05/1.05
P43		山城热泵站	甜水堡热泵站	14.90/14.9	1.05/1.05
P44		甜水堡热泵站	惠安堡站	14.90/14.9	1.05/1.05
P45	惠宁线	惠安堡站	石空站	19.70/29.00	0.60/0.73

附表 4　系统内部节点参数及模型结果表

编号	分类	站名	入流量（最小成本/最大流）（万吨）	出流量（最小成本/最大流）（万吨）	插输量（最小成本/最大流）（万吨）	插输量下限	插输量上限	负荷系数（最小成本/最大流）
N1	起始节点	化子坪站	2.00/2	2/2	0/0	-	-	0.61/0.61
N2		坪桥站	2.00/2.00	2/2.00	0/0	-	-	0.67/0.67
N3		王窑站	8/32.49	8/32.49	0/0	-	-	0.38/1.53
N4		吴旗首站	4.00/4.00	4.00/4.00	0/0	-	-	0.91/0.91
N5		铁西首站	6.12/6.12	6.12/6.12	0/0	-	-	0.25/0.25
N6		靖惠首站	15.16/15.16	15.16/15.16	0/0	-	-	1.15/1.15
N7	有插输能力中间节点	姬一联合站	7.43/7.43	22.43/22..43	15.00/15.00	2	15.0	1.50/1.50
N8		白豹输油站	6.12/6.12	18.23/18..23	12.11/12.11	2	24.3	0.75/0.75
N9		白豹站	2.00/2.00	3.2/8.53	1.2/6.53	2	6.9	0.46/1.24
N10		彬县清管站	15..00/15.00	44.47/49.13	29.47/34.13	2	35.3	1.26/1.39
N11		东营站	4.00/4.00	8.85/8.85	4.85/4.85	2	5.0	1.77/1.77
N12		华池站	3.2/8.53	13.20/13.2	10/4.67	2	10.0	1.32/1.32
N13		环北集油站	3.20/3.2	14.90/14.9	11.70/11.70	2	11.7	1.27/1.27
N14		姬二联合站	3.23/3.23	7.43/7.43	4.2/4.20	2	4.2	1.77/1.77
N15		靖安首站	7.00/7.00	7.00/7.00	0/0	2	18.9	0.37/0.37
N16		王窑站集中处理站	7.00/7.00	16.98/7.00	9.98/0	2	11.7	1.45/0.60
N17		吴一联合站	6.12/6.12	6.12/6.12	0/0	2	24.3	0.25/0.25
N18		悦乐输油站	15.00/15.00	15.00/15.00	0/0.00	2	25.0	0.6/0.6
N19		西一联站	25.00/25.00	25.00/25.00	0/0.00	2	35.3	0.71/0.71
N20		油房庄站	10.16/10.16	23.36/23.36	13.20/13.20	2	13.2	1.77/1.77
N21		西二联站	25.00/25.00	30.00/30.00	5.00/5.00	2	35.3	0.85/0.85

（续表）

编号	分类	站名	入流量（最小成本/最大流）（万吨）	出流量（最小成本/最大流）（万吨）	插输量（最小成本/最大流）（万吨）	插输量下限	插输量上限	负荷系数（最小成本/最大流）
N22	无插输能力中间节点	沿河湾输油站	33.83/48.34	33.83/48.34	0/0	-	-	1.17/1.67
N23		惠安堡站	60.70/60.7	60.70/60.7	0/0	-	-	1.47/1.47
N24		洪德热泵站	14.90/14.9	14.90/14.9	0/0	-	-	1.27/1.27
N25		耀县站	10.00/10.00	10.00/10.00	0/0	-	-	0.38/0.38
N26		宜君站	10.00/10.00	10.00/10.00	0/0	-	-	0.38/0.38
N27		马坊插输站	23.36/26.55	23.36/26.55	0/0	-	-	1.56/1.77
N28		马营站	2.00/2.00	2.00/2.00	0/0	-	-	0.45/0.45
N29		木一计量接转站	3.20/3.2	3.2/3.2	0/0	-	-	0.27/0.27
N30		洛川站	26.84/26.84	26.84/22.00	0/0	-	-	0.76/0.76
N31		乔川站	3.23/3.23	3.23/3.23	0/0	-	-	0.32/0.32
N32		曲子首站	13.20/13.20	13.20/13.2	0/0	-	-	1.13/1.13
N33		山城热泵站	14.90/14.9	14.90/14.9	0/0	-	-	1.27/1.27
N34		甜水堡热泵站	14.90/14.9	14.90/14.9	0/0	-	-	0.48/0.48
N35		马岭中集站	10.00/10.00	10.00/10.00	0/0	-	-	0.14/0.14
N36	终端节点	杨山站	33.83/48.34	33.83/48.34	0/0	-	-	1.17/1.67
N37		延炼分输站	26.84/26.84	26.84/26.84	0/0	-	-	1.6/1.6
N38		咸阳站	54.47/59.13	54.47/59.13	0/0	-	-	0.87/0.94
N39		石空站	40/35	40/35	0/0	-	-	1.28/1.12

成组批量生产计划问题的改进蚁群算法求解

李英俊　陈志祥
（中山大学管理学院　广东 广州　510275）

摘　要：本文通过对基于成组单元的有资源约束的生产批量问题模型进行分析，根据此问题的特点提出了改进蚁群算法进行求解，阐述了算法的具体构造过程，根据成组单元的特点加入局部搜索机制。通过对实例进行计算和结果的比较，结果表明该算法在寻优速度和寻优能力方面都取得不错的结果，验证了本文所提出的算法的可行性和适用性。

关键词：生产批量计划；成组技术；蚁群算法

0　引言

成组技术(Group Technology，GT)和制造资源计划(Manufacturing Resource Planning，MRP)都是提高制造企业生产效率的有效方法。基于成组技术的有能力约束批量计划问题是在受资源能力约束限制下，确定多个簇的多种不同的产品项目在给定计划期内的每一个时间段的生产批量，使得在整个计划期内，项目总的生产费用、库存保管费用和调整费用之和最小。[1]

1980 年，Florian和LENSTRA等证明了单个资源约束的单个项目批量计划问题属于NP-hard问题。[2]基于成组技术的有能力约束批量计划考虑多个资源下多个项目的批量计划问题，不仅要考虑单个项目的批量计划，而且要均衡地给多个项目分配资源，因此这是一个非常复杂的问题，它不但是一个应用上的难点，而且是一个理论上的难点。求解这里问题的精确解随着规模的增大呈指数递增，因此精确解的求解算法只能用于求解小规模问题，而专用的启发式算法只能求解特定的生产批量计划问题。因此智能算法被引入这一领域，并取得一些成果。文献[3]应用知识进化算法求解成组单元生产批量问题；文献[4]应用遗传算法求解成组单元生产批量计划问题；文献[5]应用免疫遗传算法求解单级多资源约束生产批量计划问题；文献[6，7]应用粒子群算法分别优化单级多资源约束和成组单元生产批量计划问题；文献[8]设计了单级有资源约束生产批量计划问题的元算法。本文提出了求解基于成组技术的有能力约束批量计划问题的改进蚁群算法。

蚁群算法(Ant colony optimization，ACO)是 20 世纪 90 年代由意大利学者Marco Dorigo受自然界中真实蚁群行为的启发首先提出的一种模拟进化算法[8]。该算法的原理是通过蚁群的协作过程，令每只蚂蚁在候选解的空间中独立搜索。在搜索的过程中，蚂蚁会在其走过的路径上释放一定量的信息素，路径的信息素越大，后来的蚂蚁选择该路径的概率也增加，利用这种正反馈机制，蚂蚁群体最终能寻得较好的解。蚁群算法因为收敛速度快，运算简单，容易实现的特点，引起了国内外学者们的广泛关注，取得大量的研究成果。

1　基于成组单元有能力约束的生产批量计划问题模型

基于成组单元有能力约束生产批量计划问题是，在能力约束限制下，确定K个簇的J个资源限制下N种不同的项目在给定计划范围T内的每一个时间段的批量，使得在整个计划范围内，项目的总调整费用(簇调整费用和项目调整费用)，库存保管费用和生产费用总和最小。做如下假设：①每个项目的提前期为 1；②不允许缺货；③不允许加班，则问题的数学模型为[1]

作者简介：李英俊，男，中山大学管理学院博士研究生，研究方向：运筹优化与生产管理
项目资助：(国家自然科学基金项目(70972079)

$$\min\left(\sum_{i=1}^{N}\sum_{t=1}^{T}\left(p_i x_{it}+s_i y_{it}+h_t I_{it}\right)+\sum_{t=1}^{T}\sum_{k=1}^{K}S_k Z_{kt}\right) \tag{1}$$

$$s.t.\quad I_{i,t-1}+x_{it}=I_{it}+d_{it}, i=1\sim N, t=1\sim T \tag{2}$$

$$\sum_{i=1}^{N}\left(a_{ij}y_{it}+b_{ij}x_{it}\right)+\sum_{k=1}^{K}A_{kj}Z_{kt}\leqslant C_{jt}, j=1\sim J, t=1\sim T \tag{3}$$

$$x_{it}\leqslant My_{it}, i=1\sim N, t=1\sim T \tag{4}$$

$$\sum_{i\in\Omega_k}x_{it}\leqslant MZ_{kt}, k=1\sim K, t=1\sim T \tag{5}$$

$$y_{it}\in\{0,1\}, Z_{kt}\in\{0,1\}, i=1\sim N, t=1\sim T, k=1\sim K \tag{6}$$

$$x_{it}\geqslant 0, I_{it}\geqslant 0, i=1\sim N, t=1\sim T \tag{7}$$

$$I_{i0}=I_{iT}=0, i=1\sim N \tag{8}$$

其中，N：生产产品的总数；T：计划期的长度；J：可用资源数；M：足够大的数

p_i：第 i 产品在单位时间的生产成本；s_i：第 i 产品在单位时间的调整成本；

h_i：第 i 产品在单位时间的库存成本；S_k：第 k 簇的调整费用；

d_{it}：第 i 产品在 t 时间的需求；a_{ij}：第 i 产品对第 j 种资源的调整需求；

b_{ij}：第 i 产品对第 j 种资源的生产需求；A_{kj}：第 k 簇对第 j 种资源的调整需求；

C_{jt}：资源 j 在 t 时间段的可用能力；Ω_k：第 k 簇的集合。

决策变量

x_{it}：第 i 产品在 t 时间的生产量；I_{it}：第 i 产品在 t 时间的库存量；

$y_{it}=\begin{cases}1, & \text{第}i\text{产品在}t\text{时间有生产任务}\\ 0, & \text{otherwise}\end{cases}$ $Z_{kt}=\begin{cases}1, & \text{第}k\text{簇在}t\text{时间有生产调整}\\ 0, & \text{otherwise}\end{cases}$

目标函数（1）使得整个计划期内项目总的调整费用(簇调整费用和项目调整费用)，库存费用和生产费用之和最小。约束（2）表示满足需求的物流平衡方程；约束（3）表示资源能力约束；约束（4）表示只有当生产数量大于 0 时才产生调整费用和准备工时；约束（5）表示当簇内只要有一个项目的生产数量大于 0 时，就会发生项目的簇调整费用；约束（6）表示 y_{it} 和 Z_{kt} 是 0-1 变量；约束（7）表示生产数量和不可缺货约束；约束（8）表示初始库存和结束库存为 0。

2 求解基于成组技术有能力约束的生产批量计划的改进蚁群算法

蚁群算法的构造主要包括初始解设定，转移概率的计算，适应值的计算，信息素的更新。具体的构造过程如下：

2.1 模型解的性质与解的结构

基于成组技术的能力约束生产批量问题是一个混合整数规划问题，其中包括连续变量 x_{it}, I_{it}，还存在 0-1 整数变量 y_{it}, Z_{kt}，因此明确变量之间的关系对问题的求解会有很大的帮助。

对于多资源约束生产批量问题，通过下面定理可知，一旦给定变量 y_{it}，我们就能唯一地确定 x_{it}, I_{it} 和 Z_{kt}。

定理 1[1]，对于基于成组技术有能力约束的批量计划问题，如果 $y_{it}\left(i\in[1,N], t\in[1,T]\right)$ 给定，则此问题的最优解 x_{it}, I_{it} 和 Z_{kt} 可由 y_{it} 唯一确定。即

$$x_{it}=\begin{cases}0 & Y_{it}=0\\ \sum_{u=t}^{t_1}d_{iu} & Y_{it}=1\end{cases}, t_1=\min_{p=t+1,\cdots,T}\left\{p\,\middle|\,y_{ip}=1\right\} \tag{9}$$

$$I_{it}=I_{i,t-1}+x_{it}-d_{it} \tag{10}$$

$$Z_{kt}=\begin{cases}0, & \sum_{i\in\Omega_k}x_{it}=0\\ 1, & \sum_{i\in\Omega_k}x_{it}\neq 0\end{cases} \tag{11}$$

因此对于基于成组技术有能力约束的批量计划问题的蚁群算法，采取如下策略：1. 每只蚂蚁根据转移概率确定某项目 i 在 t 时间段是否安排生产任务来确定变量 y_{it}；2. 通过定理 1，由 y_{it} 通过公式（9）和（11）来确定 x_{it} 和 Z_{kt} 的值，由公式（10）可进一步确定 I_{it}。

2.2 信息素和启发信息设定

由于变量 y_{it} 是一个二值变量，信息素和启发信息是影响 y_{it} 是选 1 还是选 0 的因素，因此信息素和启发信息都分为两种情况。

对于信息素的设置，令 $\Gamma^{r(1)}(l)$ 为第 l 次迭代第 r 只蚂蚁对应的进行生产任务的信息素矩阵，$\Gamma^{r(0)}(l)$ 表示第 l 次迭代第 r 只蚂蚁对应的不安排生产任务的信息素矩阵，则有如下关系：$\Gamma^{r(1)}(l)=\left[\tau_{it}^{r(1)}(l)\right]_{N\times T}$；$\Gamma^{r(0)}(l)=\left[\tau_{it}^{r(0)}(l)\right]_{N\times T}$。其中 $\tau_{it}^{r(1)}(l)$ 为第 l 次迭代第 r 只蚂蚁所对应的项目 i 在 t 时间段进行生产的信息素，$\tau_{it}^{r(0)}(l)$ 为第 l 次迭代第 r 只蚂蚁所对应的项目 i 在 t 时间段不安排生产的信息素。这里设置迭代开始的时候，信息素 $\tau_{it}^{r(1)}(l),\tau_{it}^{r(0)}(l)$ 为随机产生介于 0.01-1 间的值，可根据下式生成

$$\tau_{it}^{r(1)}(l)=\tau_{\min}+R(0,1)*\tau_{\max} \tag{12}$$

其中，$\tau_{\max}=1,\tau_{\min}=0.01$，$R(0,1)$ 为介于 $0-1$ 间的随机数。$\tau_{it}^{r(0)}(l)$ 可同理生成。

对于启发信息的设置，启发信息与迭代次数和蚂蚁无关，因此可以将有生产任务的启发信息矩阵 $H^{(1)}=\left[\eta_{it}^{(1)}\right]_{N\times T}$ 和不安排生产任务的启发信息矩阵 $H^{(0)}=\left[\eta_{it}^{(0)}\right]_{N\times T}$ 都设置为 1，即

$$\eta_{it}^{(0/1)}=1,\forall i,\forall t \tag{13}$$

2.3 转移概率的设定

令 $y_{it}^{r}(l)$ 为第 l 次迭代第 r 只蚂蚁对应项目 i 在 t 时间段是否安排生产的调整变量，对应的调整变量矩阵为 $Y^{r}(l)=\left[y_{it}^{r}(l)\right]_{N\times T}$，设置转移概率为[9]

$$p_{it}^{r}(l)=\frac{\left[\tau_{it}^{r(1)}(l)\right]^{\alpha}\left[\eta_{it}^{(1)}\right]^{\beta}}{\left[\tau_{it}^{r(0)}(l)\right]^{\alpha}\left[\eta_{it}^{(0)}\right]^{\beta}+\left[\tau_{it}^{r(1)}(l)\right]^{\alpha}\left[\eta_{it}^{(1)}\right]^{\beta}} \tag{14}$$

其中 $p_{it}^{r}(l)$ 为第 l 次迭代第 r 只蚂蚁对应项目 i 在 t 时间段进行生产的概率，本文考虑如下转移规则

$$y_{it}^{r}(l)=\begin{cases}1 & if\ \ p_{it}^{r}(l)\geqslant 0.5\\ 0 & \text{otherwise}\end{cases} \tag{15}$$

即如果第 l 次迭代第 r 只蚂蚁对应项目 i 在 t 时间段有生产任务的概率比没有生产任务的概率要大，则将 $y_{it}^{r}(l)$ 置为 1，即第 l 次迭代第 r 只蚂蚁对应项目 i 在 t 时间段进行生产。

2.4 适应值的计算

一旦确定了调整矩阵 $Y^{r}(l)$，则可根据上面的定理 1 来确定所有决策变量，因此适应值是 $Y^{r}(l)$ 的函数[6]

$$\begin{aligned}f_{r}^{l}\left[Y^{r}(l)\right]=&\left[\sum_{i=1}^{N}\sum_{t=1}^{T}\left(p_{i}x_{it}+s_{i}y_{it}+h_{t}I_{it}\right)+\sum_{t=1}^{T}\sum_{k=1}^{K}S_{k}Z_{kt}\right]\\&+M\sum_{t=1}^{T}\sum_{j=1}^{J}\left(\max\left\{0,\sum_{i=1}^{N}\left(a_{ij}y_{it}+b_{ij}x_{it}\right)+\sum_{k=1}^{K}A_{kj}Z_{kt}-C_{jt}\right\}\right)\end{aligned} \tag{16}$$

令 $PF^{r}(l)$ 为第 l 次迭代第 r 只蚂蚁的适应值，$PF_{iter}(l)$ 为第 l 次迭代找到的最优适应值，其相应的调整矩阵为 $Y_{iter}(l)$，PF_{opt} 为最终找到的全局最优适应值，其相应的调整矩阵为 Y_{opt}。

$$PF^{r}(l)=\begin{cases}f_{r}^{l} & ,if\ \ f_{r}^{l}<PF^{r}(l-1)\\ PF^{r}(l-1), & \text{otherwise}\end{cases},Y^{r}(l)=\begin{cases}Y^{r}(l) & ,if\ \ f_{r}^{l}<PF^{r}(l)\\ Y^{r}(l-1),\text{otherwise}\end{cases} \tag{17}$$

$$PF_{iter}(l)=\min_{h=1\sim R}\left(PF^{h}(l)\right),Y_{iter}(l)=Y^{u}(l),\text{其中}PF^{u}(l)=\min_{h=1\sim R}\left(PF^{h}(l)\right)$$

$$PF_{\text{opt}}=\min_{h=1\sim L}\left(PF_{\text{iter}}(h)\right),Y_{\text{opt}}=Y_{\text{iter}}(u)\text{其中}PF_{\text{iter}}(u)=\min_{h=1\sim L}\left(PF_{\text{iter}}(h)\right) \tag{18}$$

其中，R 为蚂蚁的数量，L 为迭代的数量。

2.5 局部搜索

从大量的关于元启发算法的文献可知，把局部搜索算法和生成初始解的机制结合是获得高质量解的有效途径[10]。为了加快蚂蚁搜索的收敛，本文在上面得到每一次迭代最优适应值 $PF_{\text{iter}}(l)$ 及相应的调整矩阵 $Y_{\text{iter}}(l)$，由于调整矩阵 $Y_{\text{iter}}(l)$ 是 0-1 矩阵，所以我们可以通过每次改变调整矩阵其中的一个值 y_{it} （如 $0\to 1$或$1\to 0$ ）来进行局部搜索，并根据改变后得到的调整矩阵 $Y'_{\text{iter}}(l)$ 的适应值来更新调整矩阵，以此作为下一次迭代蚂蚁的寻优方向，使得蚂蚁的寻优更准确，更迅速，具体方法如下：

$$y'_{it}=\begin{cases}1, if\ \ y_{it}=0\\ 0, if\ \ y_{it}=1\end{cases}, \forall i,t \tag{19}$$

对于基于成组技术的批量问题，由于簇调整费用较大，因此改变每一周期内每一组(簇)的调整矩阵来进行局部搜索

$$y'_{it}=\begin{cases}1 \text{ for all } i\in\Omega_k, \text{if } \sum_{i\in\Omega_k} x_{it}=0\\ 0 \text{ for all } i\in\Omega_k, \text{if } \sum_{i\in\Omega_k} x_{it}\neq 0\end{cases}\quad \forall t \tag{20}$$

即通过改变簇调整变量 $Z_{kt},\forall k,\forall t$ 来寻找能令适应值更优的调整矩阵 $Y'=\left[y'_{it}\right]_{N\times T}$ ，由此得到的调整矩阵就是蚂蚁进行信息素更新的方向。

2.6 信息素的更新

根据上面得到的适应值和局部搜索得到的调整矩阵进行蚂蚁的信息素更新。为了防止因信息素过量累积导致的蚂蚁寻优过早的收敛到局部最优解，本文采用一个变异概率 δ 的思想，具体实现如下：

局部最优蚂蚁的信息素增量为

$$\Delta\tau_{it}^{0/1}(1)=c_1/f_{\text{iter}}(l), \text{for } y_{it}^k=0/1\in \mathrm{Y}_{\text{iter}}(l) \tag{1}$$

全局最优蚂蚁的信息素增量为

$$\Delta\tau_{it}^{0/1}(2)=c_2/f_{\text{opt}}, \text{for } y_{it}^k=0/1\in \mathrm{Y}_{\text{opt}}(l) \tag{2}$$

则第 l 次迭代的总的信息素增量为

$$\Delta\tau_{it}^{0/1}=\Delta\tau_{it}^{0/1}(1)+\Delta\tau_{it}^{0/1}(2) \tag{3}$$

下一次迭代（第 $l+1$ 次迭代）的信息素值为

$$\tau_{it}^{r(0/1)}(l+1)=\begin{cases}(1-\rho)*\tau_{it}^{r(0/1)}(l)+\Delta\tau_{it}^{(0/1)}(2) & ,if\ \ R(0,1)>\delta\\ (1-\rho)*\tau_{it}^{r(0/1)}(l)+\Delta\tau_{it}^{(0/1)} & ,\text{otherwise}\end{cases} \tag{4}$$

其中 $R(0,1)$ 是 0-1 间的随机数，$\Delta\tau_{it}^{0}$ 为不安排生产任务情况下总的信息素增量，$\Delta\tau_{it}^{1}$ 为进行生产情况下的总的信息素增量。

3 仿真实验

为了验证本文提出的改进蚁群算法的有效性，本问题选取文献[1] 、文献[3]、文献[4]和文献[7]的计算实例作为本文的仿真例子。该实例是考虑一个 6 个项目、4 个周期以及 2 个簇的有能力约束生产批量计划问题，该问题的参数数据见表 1 和表 2。本文的改进蚁群算法的参数如下：$c_1=500$ ，$c_2=1000$；，蚂蚁的数量为 30，最大进化代数为 20。本程序在运行环境为 Windows 7 系统，CPU 主频为 2GHZ 的笔记本电脑上独立运行 50 次，平均每次运行耗时不到 1 秒，50 次的运行结果都达到了本文的最优值，平均进化代数大约为 10 代。其中运行 1 次的结果及其目标函数收敛曲线如图 1 所示，求解仿真实例计算结果如表 3 所示。

表 1　模型的基本数据

项目号	需求				单位费用系数			簇结构	
	1	2	3	4	生产费用	库存费用	项目调整费用	簇号	簇调整费用
1	53	8	72	68	10.00	5.19	100.00	1	1690
2	25	88	35	85	10.00	4.19	140.00	1	
3	0	198	34	0	10.00	3.28	60.00	1	
4	12	138	108	101	10.00	3.76	120.00	2	2480
5	4	88	39	42	10.00	4.14	180.00	2	
6	22	46	83	10	10.00	3.41	250.00	2	

表 2　各种工时系数及周期可用能力

加工工时						项目准备工时						簇准备工时		周期可用能力			
1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	1	2	3	4
2	1	3	1	3	2	2	2	1	3	1	1	50	48	1665	1600	1550	1480

从表 3 可以看出，本文所提出的改进蚁群算法求解最好结果比文献[4]中用遗传算法求得的最好结果要优，而跟文献[3]用知识进化算法和文献[7]用的改进粒子群算法求解的结果相同，找到了最优解，而且运行 50 次，每次都能找到最优解。因此可以认为本文的改进蚁群算法在求解成组单元生产批量问题上收敛速度和求解质量上都取得不错的效果，因此认为本文算法求解该问题是可行和有效的。

表 3　考虑能力约束时仿真实例计算结果及与文献[3] 、文献[4]和文献[7]的比较

项目	本文计算的结果				文献[3]结果				文献[7]结果				文献[4]结果			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	61	0	140	0	61	0	140	0	61	0	140	0	53	80	0	68
2	113	0	120	0	113	0	120	0	113	0	120	0	25	123	0	85
3	198	0	34	0	198	0	34	0	198	0	34	0	0	232	0	0
4	150	0	209	0	150	0	209	0	150	0	209	0	150	0	209	0
5	92	0	81	0	92	0	81	0	92	0	81	0	92	0	81	0
6	68	0	93	0	68	0	93	0	68	0	93	0	68	0	93	0
总费用	27 026.55				27 026.55				27 026.55				27 759.65			

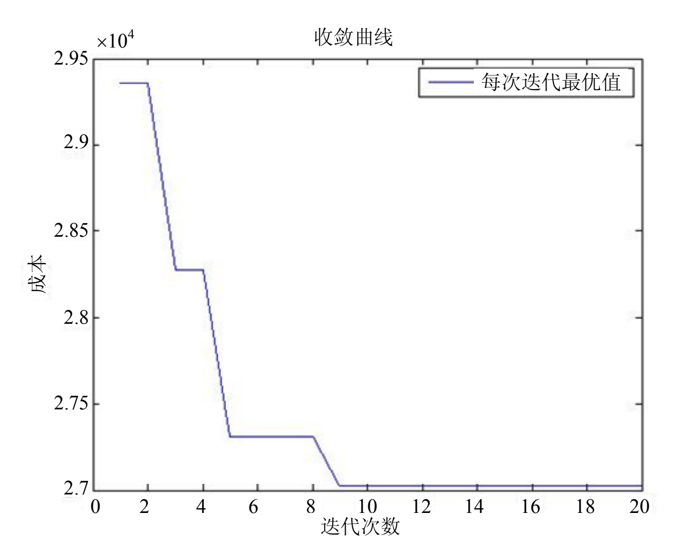


图 1　仿真实例的程序运行收敛曲线及结果

4　结束语

本文主要是针对基于成组技术的生产批量问题进行分析，在相关的研究基础上提出了改进蚁群算法来求解基于成组单元的有资源约束的生产批量计划问题，并阐述了算法的具体实现，在传统蚁群算法的基础上，根据成组单元的特点加入了局部搜索，通过仿真实验表明，本文所提出的改进蚁群算法对于求解该模型在求解速度和质量上都取得较好的结果，是求解基于成组单元的有资源约束的生产批量计划模型的有效的方法。

参考文献

[1]　唐立新. CIMS 下生产批量计划理论及应用[M]. 北京：科学出版社，1998

[2]　Florian M, Lenstra J, Rinnooy K. Deterministic production planning: algorithms and complexity[J]. Management Science, 1980, 26(7): 669-679

[3]　张爽，马良，马慧民. 成组单元生产批量计划问题的知识进化算法[J]. 工业工程与管理，2010，1(15)：92-96

[4]　赵泉午，熊中，杨秀苔. 有能力约束的单机经济批量计划问题优化模型[J]. 重庆大学学报(自然科学版)，2005，28(2)：155-158

[5]　马佳，高立群，李丹等. 求解单机多资源约束生产批量计划问题的免疫遗传算法[J]. 东北大学学报(自然科学版)，2007，28(7)：1233-1237

[6]　马慧民，柳毅，叶春明. 基于粒子群算法求解单级多资源约束生产批量计划问题[J]. 工业工程与管理，2005，10(6)：66-70

[7]　马慧民，叶春明，柳毅. 基于粒子群算法的生产批量计划问题研究[J]. 计算机集成制造系统，2006，12(7)：1417-1420

[8]　韩毅，唐加福，王立岩. 单级有资源约束的生产批量计划问题的元算法[J]. 东北大学学报：自然科学版，2009，8(30)：1111-1114

[9]　Christian Almeder. A hybrid optimization approach for multi-level capacitated lot sizing problems. 2010，European journal of operational research

[10]　Marco Dorigo，Thomas Stutzle. Ant Colony Optimization[M]. The MIT Press，2004

An Improved Ant Colony Algorithm for Solving Capacitated Dynamic Lot-sizing Problem in Group Technology Cell

Li Ying-jun，Chen Zhi-xiang
(School of Business，Sun Yat-Sen University，Guangdong Guangzhou 510275，China)

Abstract: In this paper，the model of capacitated dynamic lot sizing problem in group technology cell is analyzed and an improved ant colony algorithm for this problem is proposed. The detail of the algorithm is illustrated with numerical example. According to the characteristic of group technology cell，a local search mechanism was used. After comparing with other algorithms of other literatures，it is found that the algorithm in this paper has higher speed and better efficiency in search optimal solution.

Keyword: dynamic lot sizing; group technology; ant colony algorithm

灾后重建就业系统结构模型及运行模式
——以四川为例

方　茜
（四川省社会科学院　四川 成都　610071）

摘　要：本文运用解释结构模型技术对四川灾后重建就业系统影响要素及要素关系进行了分析，建立了“灾后重建就业系统结构模型”，从该模型中提炼出就业促进的核心要素与主要路径，归纳了四川灾后重建就业促进工作的四大系统模式。

关键词：就业促进；解释结构模型法；运行模式

0　引言

“5・12”汶川特大地震对四川政治、经济和社会事业的发展产生了严重影响。据2009年数据，地震共造成全省152万城乡劳动者失业、失地，灾区就业形势十分严峻。然而，在地方政府积极工作、兄弟省市大力援助下，全省已帮助129.6万受灾群众实现就业，就业促进工作成绩显赫。虽然四川灾后重建就业促进的工作是由不同地区、不同层级的政府协同推进的，但这些工作自上而下、由点及面，存在诸多相似之处。因此，摸清四川灾后重建过程中就业促进的成功做法，从理论角度分析这些做法的有效性，从实践角度把握就业促进的操作细节，对其他地区积极应对灾后就业出现的困难与问题，为灾区重建提供理论指导与方法具有十分重要的意义。

1　就业系统的结构模型

就业是一个系统，在这个系统里存在许多具有特定功能的、相互间具有有机联系的要素。以下运用系统分析方法——解释结构模型技术，以国内灾后重建就业方面的研究及经验报告为先验知识，借助计算机将各种模糊不清的思想、看法转化为直观具有良好结构关系的模型。

1.1　要素选择

设定研究的问题为：分析和确定影响灾后重建就业效用的要素及要素之间的关系。

目前，学者普遍认可的影响就业的要素有：经济要素（经济增长、资本投入、工资增长）、市场要素（市场分割、供需平衡）、个体要素（需求要素、观念要素、能力要素）、结构要素（产业结构、人才结构）等。

首先，明确灾后重建时期就业系统的目标。《国家汶川地震灾后恢复重建总体规划》提出：重建的目标是“户户有就业，每个家庭至少有一人能够稳定就业，城镇居民人均可支配收入和农村居民人均纯收入超过灾前水平。”因此，将灾后重建就业目标落实到个体身上是“个体就业目标”的实现。因此，提炼出系统目标为“灾后重建就业目标”和“个体就业目标”。

其次，明确影响就业的控制、调节因素。综合现有研究，四大要素缺一不可，即政府、市场、社会力量和个体努力。地震灾害对市场破坏性极大，政府在重建期间的作用排于首位；社会力量弥补政府与市场的不足；个体努力非常关键，就业需求、个体能力与就业观念等直接关系就业工作的实施难度和进度。提高市场化程度有利非国有经济的发展，促进就业量增加。对择业个体而言，影响就业观的主要因素有传统文化、教育模式、

作者简介：方茜（1973-），女，四川合江人，副研究员，管理学博士，主要研究方向：企业管理、公共管理

社会职业评价、群体观念等。

第三，明确影响就业的重要因素。学者们普遍认为资本、工资、政策、结构（供需结构、人才结构）和信息对就业十分重要。如资本弹性指标，其衡量的是资本投入每增加1%而引起的就业量的变动情况。

第四，明确保障就业路径通畅的要素。从现有研究看，政府最为重视的是三大任务，即“拓宽就业渠道”、“扩大就业空间”和“巩固就业保障”。灾后重建初期，灾区企业受损严重，本地就业空间迅速收缩，导致大批城镇居民和农村居民的失业。因此，扩大就业空间的工作目标被分解到了两个方面，即扶持地方企业和外部就业吸纳。综上所述，从复杂的就业过程中提炼出具有代表性的因素，如表 1 所示。

表 1　要素及名称

要　素	名　称	要　素	名　称	要　素	名　称
S_1	灾后重建就业目标	S_8	市　场	S_{15}	就业保障
S_2	个体就业目标	S_9	社会力量	S_{16}	就业渠道
S_3	个人努力	S_{10}	政　策	S_{17}	就业空间
S_4	个体需求	S_{11}	资　本	S_{18}	地方企业
S_5	个体能力	S_{12}	信　息	S_{19}	外部吸纳
S_6	就业观念	S_{13}	结　构	S_{20}	个体就业效用
S_7	政　府	S_{14}	工　资	S_{21}	灾后重建效用

1.2　建模过程

研究所选元素 S_i, S_j（i，j=1，2，…，21）的关系，写出上三角关系阵。其具体表达方式见以下公式。

$$\begin{cases}(1)S_i \times S_{j,}\text{即}S_i\text{和}S_j\text{互有关系，即形成回路}\\(2)S_i \circ S_{j,}\text{即}S_i\text{和}S_j\text{均无关系}\\(3)S_i \wedge S_{j,}\text{即}S_i\text{和}S_j\text{有关},S_j\text{和}S_j\text{无关}\\(4)S_i \vee S_{j,}\text{即}S_j\text{和}S_i\text{有关},S_i\text{和}S_j\text{无关}\end{cases}$$

根据上三角关系阵，写出邻接矩阵 A。通过将邻接矩阵加上单位阵，经过至多（n-1）次运算后得到可达矩阵 R。

区域划分（π_1）。将要素之间的关系分为可达与不可达，并且判断那些要素是连通的，即把系统分为有关系的几个部分或子部分。计算得到，最低层元素 $T = \{S_1, S_4, S_5, S_6, S_8, S_9, S_{18}, S_{19}\}$。

因为，$R(s_1) \cap R(s_4) = \{s_3, s_{16}, s_{20}, s_{21}\} \neq \Phi$，所以，$s_1, s_4$ 属于同一个连通域。

同理，$s_1, s_4, s_5, s_6, s_8, s_9, s_{18}, s_{19}$ 属于同一个连通域。

然后进行级间划分（π_2）。将系统中的所有要素，以可达矩阵为准则划分为不同级（层）次。若 n_i 是最上一级单元，其必须满足：

$$R(n_i) = R(n_i) \cap A(n_i)$$

$$\pi_k(n) = [L_1, L_2, \cdots, L_k]$$

$$L_k = \{n_i \in N - L_0 - \cdots - L_k \mid R_{k-1}(n_i) = R_{k-1}(n_i) \cap A_{i-1}(n_i)\}$$

$$R_{j-1}(n_i) = \{n_j \in N - \cdots - L_{j-1} \mid m_{ij} = 1\}$$

$$A_{j-1}(n_i) = \{n_j \in N - \cdots - L_{j-1} \mid m_{ji} = 1\}$$

依次求得不同层元素，计算过程略。

2.3　模型说明

绘制“灾后重建就业系统结构模型”，如图 1 所示。由该图可知，灾后重建就业系统分为六层。第一层（最底层）有 8 个要素，包括灾后重建就业目标、市场、社会力量、地方企业、外部吸纳、个体能力、就业观念和

就业需求。第二层有 2 个要素，包括政府和个体就业目标。个体就业目标受到灾后重建就业目标的导向。第三层有 6 个要素，包括信息、资本、工资、结构、政策和个体努力。其中，信息、资本、工资、结构和政策与就业三大控制或调整要素（政府、市场、社会力量）联系紧密。第四层有 3 个要素，包括就业渠道、就业空间和就业保障。就业三大调整或控制要素实际上是下面几层要素的因变量，也可以说，下面要素的改善主要是服务于这 3 个要素。第五层有 1 个要素，即个体就业效用。该要素是灾后就业个体的满意度，此满意度与个体努力分不开。与此同时，就业个体能力、就业观念和就业需求对个体努力起到一定的影响作用。第六层有 1 个要素，即灾后重建就业效用。该效用直接受个体就业效用和资本投入的影响。

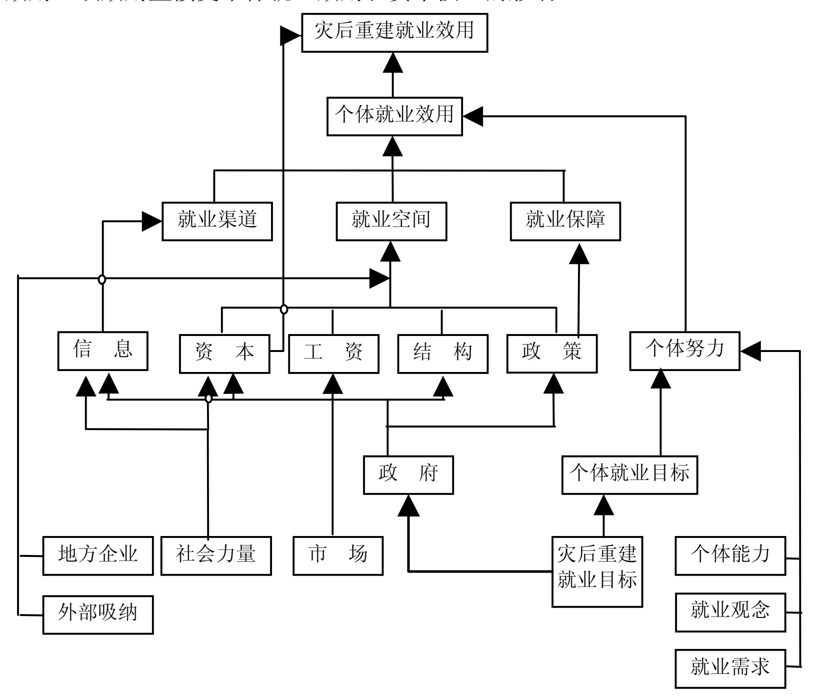


图 1 灾后重建就业系统结构模型

实质上，应在“灾后重建就业系统结构模型”中两条反馈线：一是从灾后重建就业效用→灾后重建就业目标，表示在重建过程中重建者不断评价灾后重建中就业促进的效果，根据目标与效果的吻合程度，对行为进行纠偏；二是从个体就业效用→个体就业目标，表示个体在就业过程中对自身行为进行纠偏，以提升个体满意度。也就是说，当个体发现没有达成既定就业目标（如薪酬）时，会调整自身就业努力或能力等要素。

2 就业促进系统的运行模式

灾后重建就业系统结构模型每个要素的变化都会给就业系统造成影响，促进就业的路径纷繁、复杂。但是，促进就业的工作并非面面俱到就好，有效的措施必须满足三个基本标准，即目标准确、重点突出和实施有力。结合四川灾后重建就业促进工作的实践，对灾后重建就业系统结构模型进行简化，强调核心要素和主要路径，如图 2 所示。

由图 2 可知，灾后重建促进就业有三大法门，即就业保障、就业空间和就业渠道。就业保障是基础，可缓解群众生存压力，稳定就业心态，延长就业排队（等待）时间。就业空间与就业市场关系紧密，市场大小决定了人力资源的容纳总量。就业渠道是联结工作岗位与择业群众的桥梁，信息沟通在其中作用重要，而信息透明化则需要政府、市场和社会力量的综合作用。围绕三大法门，结合灾后重建实施实情，从灾后重建就业系统结构模型中提炼出三大核心要素，即政策、市场和个体。这三大要素与其他要素关联最多，对就业的影响最大，是四川灾后重建就业促进工作的重拳。除去静态核心要素以外，四川灾后重建就业促进的特点还在于，重视要

素关系的开创，即路径拓展。综上所述，将四川灾后重建就业促进工作概括为四种模式，即政策、市场、个体和渠道。四种模式包括四种参与主体（政府、市场、社会力量和个体），各主体参与角色的定位既有轻重之分，也有时间差异。

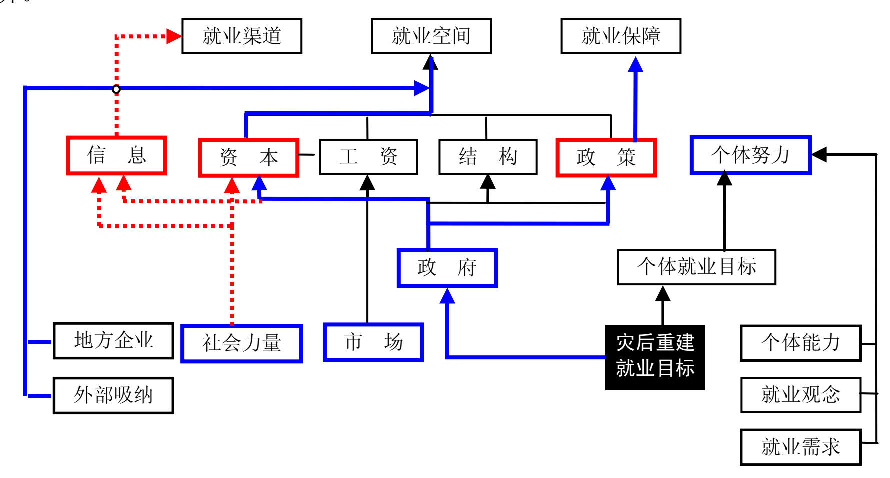


图 2　灾后重建就业系统结构模型简图

2.1　政策：提倡以工代赈，推进就业援助，实施税收优惠

政府是灾后重建期就业促进工作的主力军。尽管政府促进就业的方式有很多，但政策仍就是就业促进的核心要素①。

提倡以工代赈。以工代赈属赈济范畴，但又不同于一般单纯赈济，特殊性在于赈济灾民与建设服务的结合与统一，实质是让就业与灾后重建相结合。[1]为广泛推行以工代赈，帮助灾区群众优先就近就业，四川省政府出台《关于在地震灾后恢复重建中推行以工代赈方式的意见》。2008 年，在国家先期安排的 700 亿元灾后重建资金中，四川有 25 亿～50 亿元作为以工代赈资金。[2]

实施税收优惠。税收优惠政策是为灾区企业和群众减负，激励社会力量参与重建，鼓励灾区群众自主创业的重要策略。在《关于支持汶川地震灾后恢复重建政策措施的意见》中提出：按企业实际招用人数予以定额依次扣减营业税、城市维护建设税、教育费附加和企业所得税；城镇职工从事个体经营的可限额扣减其当年实际应缴纳的税收。

推进就业援助。就业援助目标在于保障城乡失业人员的基本生活，消除零就业家庭，维护社会安定。重建期间，政府对就业群众进行全程跟踪，为受灾民众就业护航。[3]截至 2008 年 11 月，四川省极重灾区已帮助 107 万受灾群众重新就业，其中公益性岗位安置了 14.5 万人。

2.2　市场：扶持企业发展，扩大外部吸纳，规划产业发展

与政府不同，市场是通过购买双方的作用实现资源配置。按照开放和开发劳动力市场的原则，实行短期内就业援助和长期产业发展带动就业需求相结合的就业策略，有助于解决灾区劳动力的可持续就业问题。[4]

扶持企业成长。灾后重建期间，各级政府部门下发了扶持企业成长的相关文件，将对灾区企业（特别是劳动密集型的中小企业、服务业企业和非公有制企业等）用工支持作为就业税收援助政策的重点。[5]在《四川省人民政府关于采取积极措施减轻企业负担稳定就业局势有关问题的通知》中提出：各市（州）在确保社会保险待遇不降低并按时足额支付、社会保险基金不出现缺口的前提下，可允许困难企业在一定期限内缓缴社会保险费；各市（州）在确保参保人员社会保险待遇水平不降低、按时足额支付社会保险待遇和保证社会保险制度平稳运行的前提下，可在 2009 年之内适当降低用人单位缴纳的城镇职工基本医疗保险、失业保险、工伤保险、

① 这里的政策涵盖了中央机关、省级和下属部门出台的各种文件。

生育保险费率等。

扩大外部吸纳。外部吸纳突破了短期内灾区企业产能恢复缓慢、就业容量有限的瓶颈，以外围就业空间的延伸缓解压力。外部吸纳有两条路径：一是将外部企业直接吸纳到灾区，借着灾后重建的大好时机，将产业转移与灾后重建结合起来，实现就业与企业发展的双赢。四川省工商局出台的《关于支持汶川地震灾后恢复重建促进加快发展的政策实施意见》中提出：鼓励工业企业和对口支援的工业企业迁入灾后重建的工业集中发展区，对相关企业办理变更登记开辟绿色通道，实行特事特办。二是借助对口援助桥梁，加大灾区劳务输出。相关文件指出，应有序组织劳务输出，对已确定招聘的人员，支援省和受援省劳动保障部门要及时联系用人单位，共同商定交通运输方案，指导做好对应聘劳动者的接送工作，保证将每一名受灾地区劳动者安全、免费送到用人单位。

规划产业发展。《汶川地震灾后恢复重建生产力布局和产业调整专项规划》中提出，要高度重视并优先恢复重建与解决灾区人民就业和恢复生活生产秩序密切相关的产业，解决好灾区人民群众最现实、最迫切的就业和生计问题，维护社会稳定。该《规划》对灾区三次产业进行了科学合理的安排。

2.3 个体：调整择业偏差，提升从业能力，鼓励自主创业

个体是就业系统中单位最小，但起决定性作用的要素。调整求职者从业心态、提升从业能力、鼓励自主创业是灾后重建就业促进工作的不二选择。

调整择业偏差。灾后重建期间，部分待业人员择业认识上存在问题。找工作有三个要求（工资较高、工作相对轻松体面、能够照顾家庭），但能够满足这些条件的工作岗位很少。针对灾区群众择业认识的问题，各级就业管理部门聘请专家为受灾群众做就业心理辅导，从确定适当的择业目标、避免从众心理、避免理想主义和克服依赖心理四个方面调整灾区群众择业偏差，鼓励他们积极面对生活，主动投入到自救、重建家园的工作中。

提升从业能力。提升灾区群众从业能力是拓展个体就业范畴、提高就业信心、让个体能力与企业需求更为契合的重要措施。重建期的培训更加注重针对性、实用性和有效性，注重就业市场的需求和变化，注重帮助择业群众通过培训掌握再就业的技能和本领，提高自身综合素质和专业技能。《四川省人民政府关于支持汶川地震灾后恢复重建政策措施的意见》指出：对有就业去向的灾区城乡劳动者实行免费定向培训、订单培训；对国家规定实行就业准入的指定工种提供免费职业技能鉴定。有的地方给予企业职工培训优惠。只要企业在恢复生产期间开展职工培训，就可申请获得不超过上年企业实际缴纳失业保险费总额30%的培训补助。

鼓励自主创业。发挥创业带动就业的倍增效应是灾后重建解决就业问题的重要路径。劳动者在创业时，不仅解决了自己的就业问题，还可通过合伙创业、组建公司等方式带动更多的人就业，培养和造就更多的创业主体。但对灾区大多数生活都存在困难的群众来说，自主创业风险较大。因此，降低创业风险，为渴望自主创业的灾区群众解决资金短缺的问题，给予税收优惠是鼓励灾民自主创业的基础工作。灾后重建期间，各级政府出台了一系列支持灾区群众自主创业的优惠政策。对灾区自谋职业、自主创业的人员，按规定享受税费减免、小额担保贷款；对灾害中失去工作的城镇职工，从事个体经营的按每户每年 8000 元限额扣减应缴纳的营业税、城建税、教育费附加和个人所得税；个体经营人员 3 年内按规定免收有关行政事业性收费。

2.4 路径：拓宽就业渠道，施行对口援助，吸引社会力量

就业路径的开拓无非是将系统要素更为有机地联系起来，让要素发挥最大功用。在就业促进路径开发中，首先着力信息要素，联结就业群体和就业单位；其次有效借力，建构内外沟通桥梁，依靠对口援助快速缓解压力；再次，吸引广大社会力量参与，以“参与主体的丰富”增强就业促进力度。

拓宽就业渠道。一是举办就业招聘会。重建时期，灾区群众的就业信息主要来自于地方政府就业服务部门、职业介绍机构和媒体发布。举办就业招聘会、促进人力资源市场供需双方见面，成为政府拓宽就业路径的主要工作。在就业招聘会的举办主体上，以灾区和对口支援方为主。二是开发公益性岗位。结合灾后重建需要，针对特困受灾群众，地方政府及公安、城管、民政、卫生、建设、房管等部门大力开发卫生防疫、环境清理、物资搬运、伤员看护、治安维护、后勤服务、废墟清理、社区服务等公益性就业岗位。对安排在公益性岗位上的

人员，由政府给予岗位补贴和社会保险补贴。

施行对口援助。对口支援是灾后重建就业促进工作中最具有创意的措施。该措施得益于中央实施的举国策略。该策略坚持一方有难、八方支援，自力更生、艰苦奋斗的方针，坚持硬件与软件相结合，输血与造血相结合，当前和长远相结合，调动人力、物力、财力、智力等多种力量，号召有关省市积极为灾区提供人力、物力、财力、智力等各种形式的支援。

吸引社会力量。为了鼓励社会力量积极投入到灾区就业促进工作中，国务院出台了一系列有利政策。如《关于支持汶川地震灾后恢复重建政策措施的意见》中规定：对单位和个体经营者将自产、委托加工或购买的货物通过公益性社会团体、县级以上人民政府及其部门无偿捐赠给受灾地区的，免征增值税、城市维护建设税及教育费附加。另外，许多企业积极参与我省灾区就业促进工作。如 2008 年 7 月百事中国在四川灾区启动了助力灾后重建的大型公益项目“四川力量”。该活动通过实施“零负担再就业援助计划”“知识就是力量”和“四川力量作品征集”等系列有针对性的援助项目，帮助灾区人民重建家园。

参考文献

[1] 杨继瑞. 以工代赈：抗震救灾与重建家园的重要抉择[J]. 经济理论与实践，2008，(6)：18-21

[2] 苑坚，冯昌勇，江毅. 灾后重建提升四川就业消化能力[EB/OL]. http://www.wfnews.com.cn/news/2008-11/28/ontent_341182.htm，潍坊新闻网，2008 年 11 月 28 日

[3] 陈颖，刘鹏. 就业援助让劳者有其业[J]. 四川党建，2008，(8)：51-52

[4] 郭正模，李晓梅. 四川省灾后重建的就业重点和难点问题分析[J]. 西华大学学报(社会科学版)，2009，(6)：66-70

[5] 吕琳. 和谐视野中的灾后重建路径探析——基于扩大就业与税收援助政策的视角[J]. 四川省情，2008，(12)：28-29

Model of Employment System Structural Model and Operation Mode in Reconstruction——Case in Sichuan

Fang Qian

(Sichuan Academy of Social Sciences，Sichuan，Chengdu，610071，China)

Abstract：In this article, we analyze elements and element’s relationship of employment system in post-disaster reconstruction, by interpretative structural modelling method. We build the model, extracted key elements and main path. At last, we summarized four operation mode of post-disaster reconstruction.

Keywords：employment promotion;　interpretative structural modelling method;　operation mode

多产出下的随机生产前沿与典型技术效率

葛　虹[1]　黄　祎[2]　逢守艳[3]

（1. 哈尔滨工业大学管理学院　黑龙江 哈尔滨　150001;

2. 东北大学工商管理学院　辽宁 沈阳　110004;

3. 哈尔滨商业大学 经济学院　黑龙江 哈尔滨　150028）

摘　要：建立多投入多产出条件下的随机生产前沿并有效地测算技术效率一直是学术界的一个重要研究课题。为了解决一般参数型随机生产前沿只能建立多投入与单产出之间的生产函数问题，本文利用由典型相关分析寻找的综合投入与综合产出建立参数型随机生产前沿，并称由这种方法建立的函数为典型生产前沿，由此测算的效率为典型技术效率。最后，利用我国2008年16家商业银行的多投入多产出数据，建立了典型生产前沿，并测算了各家商业银行的典型技术效率。在此基础上，给出了扩展参数型随机前沿分析技术的备选方案。

关键词：随机生产前沿；技术效率；典型相关分析；典型技术效率

0　引言

技术效率能够有效地度量企业利用多种投入资源获取各种经济效益和社会效益的能力。由于该指标的重要性，人们不断探索能够有效度量投入产出比的方法。最早提出效率概念的是Farrell，他建议利用生产前沿技术，比如非参数分段线性技术或参数型生产函数对这些指标进行估计。[1]Charnes等人采纳了Farrell的第一个建议[2]，Aiger和Chu采纳了Farrell的第二个建议[3]，由此形成了目前最流行的两类生产效率的测算方法。一类是基于数据包络分析的非参数方法；一类是基于前沿生产函数的参数方法。

两种方法有各自的优点和各自的局限，一个方法的优点又往往是另一个方法的缺陷[4]。如：DEA方法可以评价单产出生产过程也可以评价多产出生产过程，而随机前沿法只能考虑单产出生产过程。又如：DEA方法没有考虑随机噪声对投入与产出的影响，因此，数据中异常值的存在会大大影响生产效率指标的有效性。另外，由于DEA方法实质上是线性规划问题，这种纯代数方法没有关于估计值的统计描述和模型的显著性检验。尽管随机前沿考虑了随机噪声的影响，但却要在分析之前选择前沿的分布形式和生产函数的表达式。尽管成本随机前沿可以考虑多投入多产出的情况，但还必须具备成本以及各种投入的价格信息，而这些信息在实际采集时会遇到很大的困难。

为了解决随机生产前沿仅限于单产出的问题，本文采用典型相关分析技术，利用典型相关变量建立随机生产前沿，并由此计算多投入多产出下的典型技术效率。这个方法兼有随机前沿与 DEA 的优点，比如，可以测评多投入多产出生产单元、还可以对模型和系数进行统计检验。本文结构安排如下：第一部分是基于典型相关变量的随机生产前沿与典型技术效率；第二部分利用我国商业银行的投入产出数据测算 2008 年 16 家银行的典型技术效率，并给出新方法的改进方案；最后给出结论。

基金项目：黑龙江自然科学基金资助项目(G201017)

作者简介：葛虹（1962-），女，江苏睢宁人，副教授，博士，主要研究方向：评价理论与方法、数据挖掘；黄祎（1981-），男，福建邵武人，讲师，博士，主要研究方向：技术经济、计量经济；逄守艳（1957-），女，黑龙江哈尔滨人，教授，主要研究方向：计量经济

1　基于典型相关变量的随机生产前沿与典型技术效率

参数型生产函数研究的是p个投入变量（$X_1, X_2, \cdots, X_p$）与一个产出变量（Y）之间的关系。在应用中最常见的生产前沿函数有两种形式。一是C-D型生产前沿，其对数形式为

$$\ln Y = \alpha + \sum_{k=1}^{p} \beta_k \ln X_k - u + v \tag{1}$$

其中 β_k（$k=1,2,\cdots,p$）是第 k 种投入的产出弹性，而α反映的是平均技术水平，它们都是未知参数。u 是服从半正态分布 $N^+(\mu,\sigma_u^2)$ 的技术无效项；而 v 是服从 $N(0,\sigma_v^2)$ 的随机误差项。另一个是超越对数生产函数。其一般形式为

$$\ln Y = \alpha + \sum_{k=1}^{p} \beta_k \ln X_k + \frac{1}{2}\sum_{k=1}^{p}\sum_{l=1}^{p} \beta_{kl} \ln X_k \ln X_l - u + v \tag{2}$$

这两个模型关于未知参数都是线性的，但与对数投入的关系却不一致。模型（1）关于对数投入也是线性的，而超越对数生产函数关于对数投入是二次的。这导致了两个模型对技术进步性质的描述产生了根本性的差别。模型（1）所描述的技术进步是中性的，而超越对数生产函数所描述的技术进步是非中性的。在一般情况下，首先利用数据估计超越对数生产函数（2）中的参数，并对技术进步的类型进行假设检验。而这相当于对零假设 $H_0: \beta_{kl} = 0\ (k,l=1,2,\cdots,p)$ 进行检验。一旦接受这个零假设，最后要分析的模型就是（1）。

然而，实际生产是一个多投入（$X_1, X_2, \cdots, X_p$）多产出（$Y_1, Y_2, \cdots, Y_q$）过程。在多元统计分析中，研究若干个投入变量和一个产出变量之间的关系常常采用多元回归分析技术，或称之为复相关分析，而典型相关分析可以用来寻找多投入与多产出之间的相关关系[5]。

复相关分析的目的在于找出适当的回归系数（$a_1, a_2, \cdots, a_p$）作为p个投入的加权值，使得p个投入的线性组合$a_1X_1+a_2X_2+\cdots+a_pX_p$与产出Y的相关性最大。典型相关分析的目的在于除了要找出p个投入的加权值外，还要寻找q个产出的加权值（$b_1, b_2, \cdots, b_q$），使投入加权组合$a_1X_1+a_2X_2+\cdots+a_pX_p$与产出加权组合$b_1Y_1+b_2Y_2+\cdots+b_qY_q$的相关系数最大。亦即：在所有的线性组合

$$V=a_1X_1+a_2X_2+\cdots+a_pX_p$$

和

$$W=b_1Y_1+b_2Y_2+\cdots+b_qY_q$$

中，确定各个加权值，使得第一对变量（V_1，W_1）的相关系数最大，并称其为第一对典型变量，且称它们之间的相关系数为典型相关系数。

利用同样的规则，可以找到第二对典型变量（V_2，W_2），但其相关系数会小于第一对典型变量的相关系数，且V_1与V_2，W_1与W_2不相关。典型变量的对子数为min(p，q)，即投入和产出组中个数最少的。

保留典型相关变量对子数的方法有两个：一是通过典型相关系数的显著性检验确定；二是结合应用和专业知识判断。通常典型变量对子数越少越容易解释。由于在投入产出分析中，投入与产出之间有较强的相关性[6]，因此，第一对典型变量就能够反映足够的投入产出变量间的相关性信息。

C-D型回归模型（1）反映的是单产出对数lnY与投入对数（$\ln X_1, \ln X_2, \cdots, \ln X_p$）之间的复相关关系。为了找出多投入与多产出的类似于模型（1）或模型（2）的关系，首先对投入和产出的对数（$\ln X_1, \ln X_2, \cdots, \ln X_p$）与（$\ln Y_1, \ln Y_2, \cdots, \ln Y_q$）进行典型相关分析，将获得的第一对典型相关变量记为

$$V=a_1\ln X_1+a_2\ln X_2+\cdots+a_p\ln X_p \tag{3}$$

和

$$W=b_1\ln Y_1+b_2\ln Y_2+\cdots+b_q\ln Y_q \tag{4}$$

接下来建立综合对数投入 V 与综合对数产出 W 的随机生产前沿

$$W = \beta_0 + \beta V - u + v \tag{5}$$

或

$$W = \beta_0 + \beta_1 V + \beta_2 V^2 - u + v \tag{6}$$

其中 u 和 v 的意义与模型（1）相同。模型（5）与单产出的C-D生产函数（1）对应；而模型（6）与超越对数生产函数（2）对应，并称由典型相关变量构成的生产函数为典型生产前沿，称由典型随机前沿计算的技术效率为典型技术效率。

在建立典型随机前沿时，首先利用典型相关变量的数据估计模型（6），然后对零假设 $H_0:\beta_2=0$ 进行检验。若接受零假设，再估计模型（5），由于（V，W）是相关系数最大的一对综合对数投入产出变量，该模型应具有较高的拟合优度。

2　实证分析

本文选择2008年4家国有银行和12家股份制银行进行实证分析。数据来源于Bankscope数据库以及《中国金融年鉴》。现有的投入产出变量选取方法主要包括生产法和中介法。生产法将银行看做是存款账户和贷款服务的生产者，目标是利用有限的资源，使生产和服务最大化。而中介法却是将银行看做中介机构，它募集资金，通过提供出借这些资金获得收益。一般来说，生产法比较适合研究银行分支机构的技术效率[7]，因为分支机构通常无法进行投资决策，而仅仅是处理客户文档以及银行债券。由于本文比较的是具有投资决策能力的银行，因此，采用中介法选择投入产出指标体系。

考虑到数据的可得性，投入变量选取为固定资产（X_1）、存款（X_2）及员工人数（X_3）；产出为贷款（Y_1）、同业存放（Y_2）和其他运营收入（Y_3）。对数投入产出之间的相关系数如表1所示，利用这些投入产出变量的对数进行典型相关分析的结果如表2和表3所示。

表1　投入产出对数之间的相关系数

	$\ln X_1$	$\ln X_2$	$\ln X_3$
$\ln Y_1$	0.962	0.996	0.979
$\ln Y_2$	0.890	0.937	0.873
$\ln Y_3$	0.908	0.946	0.898

由表1可以看出，对数投入产出之间的相关系数均在0.87以上，因此，它们之间具有极强的相关性，说明每一种投入越大，不同的产出也越大，符合一般生产规律。因此，由这些投入产出变量建立生产函数具有可行性。

表2　特征值与典型相关系数

	特征值	贡献率	累计贡献率	典型相关系数	典型相关系数平方
1	247.206	99.459	99.459	0.998	0.996
2	1.339	0.539	99.998	0.757	0.572
3	0.005	0.002	100.00	0.072	0.005

表2说明：由16家的3个对数投入和3个对数产出的数据获得了三对典型变量。第一对典型变量的相关系数是0.998，第二对和第三对典型变量的相关系数分别是0.757和0.072。从贡献率和典型相关系数的平方（相当于一般回归中的决定系数R^2）来看，第一对典型变量解释了两组变量之间共线性信息的99.459%，且第一对典型变量对相互变异的解释程度高达99.6%。尽管第二对典型变量的相关系数是0.757，但从贡献率来看，它们对两组变量之间共线性信息的解释能力仅为53.9%，因此，保留第一对典型变量足以保证典型随机前沿的质量。

表 3　第一典型变量的系数及典型变量与原变量的相关系数

变量	典型变量的系数	相关系数	变量	典型变量的系数	相关系数
$\ln X_1$	−0.057	0.963	$\ln Y_1$	0.631	0.998
$\ln X_2$	0.906	0.999	$\ln Y_2$	0.044	0.947
$\ln X_3$	−0.086	0.975	$\ln Y_3$	0.070	0.953

由表 3 的第二列和第三列可以看出，三个对数投入的第一个典型变量是

$$V= -0.057\ln X_1+0.906\ln X_2 -0.086\ln X_3 \tag{7}$$

且 V 与固定资产、存款和员工人数对数的相关系数分别是 0.963、0.999 和 0.975，即 V 能有效地代表三个投入的综合信息；由表 3 的第五列和第六列可以看出，三个产出的第一个典型变量是

$$W= 0.631 \ln Y_1+0.044 \ln Y_2 +0.070 \ln Y_3 \tag{8}$$

且 W 与贷款、同业存放和其他运营收入对数的相关系数分别为 0.998、0.947 和 0.953，即 W 能有效地代表三个产出的综合信息。

本文利用计算软件程序包 FRONT41−*x*p1 进行随机前沿分析，模型（6）中技术无效项 u 服从截尾正态分布 $N^+(\mu,\sigma_u^2)$，误差项 v 服从正态分布 $N(0,\sigma_v^2)$，随机前沿分析的结果如表 4 所示。

表 4　随机前沿模型中参数的估计

参数	估计值	标准差	t 值
β_0	−4.4006	0.9784	−4.4976
β_1	1.5138	0.1822	8.3089
β_2	−0.0232	0.0085	−2.7324
$\sigma_2=\sigma_u^2+\sigma_v^2$	0.0040	0.0029	1.3955
$\gamma=\sigma_u^2/(\sigma_u^2+\sigma_v^2)$	1.0008	0.0352	28.4308
μ	0.1024	0.0227	4.5093

从表 4 可以看出，由于零假设 $H_0:\beta_2=0$ 检验统计量的 t 值为−2.7324，因此拒绝模型（6）中二次项系数等于零的假设。同时，由于截尾正态分布 $N^+(\mu,\sigma_u^2)$ 中参数 μ 所对应的 t 值为 4.5093，且方差比参数 γ 也显著的不为零，可以认为在模型（6）的技术无效项中假设 $\mu\neq 0$ 是合理的。由模型（6）计算的典型技术效率以及排名如表 5 所示。

表 5　2008 年各家银行的典型技术效率计算结果

银行名称	技术效率	排名	银行名称	技术效率	排名
农业银行	0.8349	14	浙商银行	0.9534	3
中国银行	0.9861	2	恒丰银行	0.8502	13
交通银行	0.9249	6	广发银行	0.9064	10
中信银行	0.9145	9	华夏银行	0.8313	15
建设银行	0.9241	7	工商银行	0.8822	11
光大银行	0.9427	4	兴业银行	0.8687	12
招商银行	0.9345	5	浦发银行	0.8142	16
民生银行	0.9877	1	深发银行	0.9211	8

2008 年我国 16 家银行典型技术效率的平均值为 0.9048，四大国有银行的效率平均值为 0.9068，略高于总体平均，但工商银行特别是农业银行的排名仍比较落后。14 家股份制银行的平均效率为 0.9041，略低于总体平均效率。与以往几年的效率评价结果相比[8]，四大国有银行的效率有了一定的提高，改变了过去股份制银行在效率评价中占有绝对优势的局面，从而表明国有银行近几年来的改革和结构调整初见成效，但提高的幅度并不是很大。

但在实证时发现：第一典型综合投入（7）的两个系数为负。而在单产出的情形，这些系数通常为投入的产出弹性，这个系数应该大于 0。为了更合理地建立多产出下的随机生产前沿，在不违背典型相关分析基本原理的前提下，可以建立如下具有条件限制的优化模型：

$$\begin{aligned} &\max \rho_{\mathrm{v,w}} \\ &s.t.\ \ a_i \geqslant \varepsilon;\ \ b_j \geqslant \varepsilon \end{aligned} \tag{9}$$

其中V与W分别是（3）与（4）式所表达的综合对数投入与综合对数产出，待估系数（$a_1, a_2, \cdots, a_{\mathrm{p}}$）与（$b_1, b_2, \cdots, b_{\mathrm{q}}$）是非负的（$\varepsilon$为非阿基米德无穷小）。而V与W的相关系数可以写成

$$\rho_{\mathrm{v,w}} = \frac{\mathrm{cov(V,W)}}{\sqrt{\mathrm{D(V)}}\sqrt{\mathrm{D(W)}}} = \frac{\sum_{i=1}^{\mathrm{p}}\sum_{\mathrm{j}=1}^{\mathrm{q}} a_i b_j \,\mathrm{cov}(\ln \mathrm{X}_i, \ln \mathrm{Y}_j)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{\mathrm{p}}\sum_{\mathrm{j}=1}^{\mathrm{p}} a_i a_j \,\mathrm{cov}(\ln \mathrm{X}_i, \ln \mathrm{X}_j)}\sqrt{\sum_{i=1}^{\mathrm{q}}\sum_{\mathrm{j}=1}^{\mathrm{q}} b_i b_j \,\mathrm{cov}(\ln \mathrm{Y}_i, \ln \mathrm{Y}_j)}}$$

此时，模型（9）是一个非线性规划问题。（9）式的目标函数还可以进一步简化为

$$\sum_{i=1}^{\mathrm{p}}\sum_{\mathrm{j}=1}^{\mathrm{q}} a_i b_j \,\mathrm{cov}(\ln \mathrm{X}_i, \ln \mathrm{Y}_j) - \sum_{i=1}^{\mathrm{p}}\sum_{\mathrm{j}=1}^{\mathrm{p}} a_i a_j \,\mathrm{cov}(\ln \mathrm{X}_i, \ln \mathrm{X}_j) - \sum_{i=1}^{\mathrm{q}}\sum_{\mathrm{j}=1}^{\mathrm{q}} b_i b_j \,\mathrm{cov}(\ln \mathrm{Y}_i, \ln \mathrm{Y}_j) \tag{10}$$

而以（10）为目标函数的优化问题则是二次规划问题。当利用（9）或（10）计算出典型变量（3）和（4）式中的系数后，最后仍应该估计形如（6）式的随机生产前沿，并在此基础上估计各个单元的典型技术效率。

3 结论

本文利用典型相关分析技术，将随机前沿生产函数推广到多投入多产出的情形。由于典型相关分析是回归技术的扩展，因此，典型随机前沿是经典随机前沿的推广。与经典随机前沿不同的是典型随机前沿实际上是采用了两步法完成的。首先，利用统计中的典型相关分析技术或优化分析技术（9）获得相关性最强的综合投入与综合产出，然后再利用一般随机前沿估计方法建立综合投入与综合产出之间的关系。

典型随机前沿的一个主要优势就是在多投入与多产出的情况下，不仅考虑了随机误差，还可以对各项系数以及模型进行检验，兼有一般参数型生产函数和非参数型 DEA 技术的优点。而如何采用一步法获得多投入多产出的随机生产函数将是进一步研究方向。

参考文献

[1] Farrell M J. The Measurement of productive efficiency [J]. Journal of the Royal Statistical Society. 1957，120：253-290

[2] Charnes A，Coope W W，Rhodes E. Measuring the efficiency of decision making units [J]. European Journal of Operational Research. 1978(2)：429-444

[3] Aigner D J，Chu S F. On estimating the industry production function [J]. American Economic Review，1968，58：826-836

[4] Ines Herrero. Different approaches to efficiency analysis. An application to the Spanish trawl fleet operating in Moroccan Waters [J]. European Journal of Operational Research，2005，167：257-271

[5] 张尧庭，方开泰. 多元统计分析引论[M]. 北京：科学出版社，1997，305-315

[6] Tyron T L，Chia-Chi，Tsui-Fen Chiu. Application of DEA in analyzing a bank’s operating performance [J].

Expert System with Application，2009，36：8883-8891

[7] Berger A N，Humphrey D B. Efficiency of financial institutions：international survey and directions for future research [J]. European Journal of Operational Research，1997，98 (2)：175-212

[8] 袁晓玲，张宝山. 中国商业银行全要素生产率的影响因素分析[J]. 数量经济技术经济研究，2009(4)：93-104

Stochastic Production Frontier with Multiple Outputs and Canonical Technical Efficiency

GE Hong[1]，HUANG Yi[2]，PANG Shou-yan[3]

（1. School of Management，Harbin Institute of Technology，Harbin 150001，China; 2. School of Business Administration，Northeastern University，Shenyang，110004，China; 3. School of Economics，Harbin University of Commerce，Harbin 150028，China）

Abstract: Measuring the technical efficiency with multiple outputs and inputs production frontier is always the focus of study. One restriction of the classical production frontier characterizes only the relationship of the single output and multiple inputs. This paper proposes an approach to estimate the parametric production frontier，namely canonical production frontier，with the aggregate input and output obtained by canonical correlation analysis，and also the canonical technical efficiency. The proposed approach is used to measure the canonical production frontier and the technical efficiency for the 16 Chinese banks in 2008. Improvement can be achieved by another proposed method.

Keywords: stochastic production frontier; technical efficiency; canonical correlation analysis; canonical technical efficiency

后发企业的国际化优势构建研究：以海尔为例

卢 锐[1] 王 军[2]
（1. 同济大学经管学院 上海 200092；2. 江苏省社科联 南京 210002）

摘 要：后发企业可以凭借后发优势实现技术赶超，但在现有技术差距下，后发企业只有实现一定的技术学习才能实现技术赶超。而后发企业通过积累和提高技术能力的过程或行为，可以构建企业国际化优势。本文研究海尔成功地进行技术学习，充分运用国外的技术资源，构建特有的企业国际化优势。

关键词：后发企业；技术学习；国际化；海尔

0 引言

发展中国家与地区企业技术能力发展路径与发达国家不同，这些技术后进国家企业技术发展多起源于选择、获取、消化吸收和改进国外技术。因此，技术后进国家企业是在了解、依赖发达国家技术发展轨迹和国外技术供应全球战略的技术环境下，寻求其技术能力的获得。而企业国际化是一种复杂的经济活动，其活动涉及不同国家的经济、法律乃至文化等多个领域，在不同的环境中呈现出不同的特征，以至于人们很难在一个历史阶段全面认识企业国际化。传统理论对于企业优势的分析中，过于重视对企业微观经济行为分析，而忽略了国际分工原则的作用。

一般而言，能力是经过学习过程而后天获得的。对于后发企业来说，从早期阶段的低水平状态成长到能够与先进者竞争的状态，则需要经历高强度的技术学习，而支撑这种学习过程则往往需要进取性的战略。换句话说，后发企业能力成长的关键，不是最初的技术水平，而是进取性的战略及其这种战略下的高强度技术学习。海尔等企业通过不断的技术学习，实现国际化的成长。

1 后发企业国际化优势的构建

20 世纪 60 年代以后，国际经济环境发生了重要变化。一是美国劳动密集型产业市场竞争力下降的压力愈益明显，日本等国企业的竞争力迅速提升，开始在某些技术比较成熟的制造业部门对美国传统优势地位构成挑战，竞争压力迫使美国企业通过国际范围的结构调整来加以应对。二是发展中国家或地区广泛实行的进口替代政策遭遇了前所未有的困境，或因受到国内市场规模限制而难以持续实行，或由于扭曲干预措施带来的企业低效率及寻租行为等新问题无法解决，从而导致通过扩大和加深与国际市场联系来谋求发展的新思路受到重视。

后发优势论的创立者是 Gerchenkron，对 19 世纪德国、意大利、俄国等欧洲较为落后国家的工业化过程进行了经验分析，一个工业化时期经济相对落后的国家，其工业化进程和特征在许多主要方面表现出与先进国家（如美国）显著不同。他把这些差异归纳为 8 个对比类型，即当地型与诱发型、自发型与强压型、生产资料中心型与消费资料中心型、通货膨胀型与通货稳定型、数量变化型与结构变化型、连续型与非连续型、农业发展型与农业停滞型、经济动机型与政治目的型。在这 8 个对比类型中，每一项对比类型相互之间的组合形态是由各国的落后程度来决定的。通过对各个组合形态的研究，得出了 6 个重要命题：一个国家的经济越落后，其工业化的起步往往越缺乏连续性，而呈现出一种由制造业的高速成长所致的突然的大冲刺进程；一个国家的经济

国家自然科学基金（70973088）项目

卢锐，男（1969-），安徽长丰人，同济大学经济管理学院博士后，研究方向：企业成长等

越是落后，在其工业化进程中对大工厂和大企业的强调也就越明显；一个国家的经济越落后，就越强调生产资料而非消费资料的生产；一个国家的经济越落后，其工业化进程中国民消费水平越低；一个国家的经济越落后，其工业化所需资本的动员和筹措越带有集权化和强制特征；一个国家的经济越落后，其工业化中农业就越不能对工业提供市场支持，农业越受到抑制，发展相对较慢(Gerchenkron，1962)。

后发企业通过技术学习来实现国际化，指后发企业技术扩散明显高于技术领先的技术创新速度，显示出技术追赶特点。这是因为技术创新成本高于技术引进成本，技术创新应用于商业化的时间多于引进技术商业化的时间，虽然后发企业技术落后，但是引进技术可以降低创新成本，节约新产品进入市场的时间，技术创新主要为新产品、新市场方面创新。从世界经济发展历史上看，日本企业是比较成功的例子，中国、印度和东南亚国家正在成为新兴工业化国家后发企业的成功范例。

技术学习是发展中国家技术创新和发展的中心问题之一，从本质上说是指后来企业积累和提高技术能力的过程或行为。从韩国等新兴工业化国家的经验来看，产业技术升级通常是在参与到跨国公司全球生产体系中，主要经历仿制、模仿创新和自主创新三个阶段而实现的。技术扩散不仅仅是对生产技术的简单获取，而是要构建引进方的技术能力。技术扩散包括技术在产品、设计和能力三个不同层面上的扩散方式。产品技术层面，主要包括原材料、最终产品、部件、设备，旨在提供实际生产能力或产品本身；设计技术层面包括设计、蓝图、以前设计的产品或设备的技术诀窍，旨在为创造能力的形成提供基本的信息、数据和指南；能力层面包括技术诀窍和软件，使用现有技术和产品设计新产品的创新等。

一般而言，后发企业的技术初期来自于技术转移与模仿，由于先进地区已有的基础，可以用较少的研发投入来获得显著的技术进展。当技术水准与先进地区差距逐渐缩小以后，技术取得的成本逐渐增高，需要自身投入的研发也越来越多。其技术学习曲线如图 1 所示，分为技术引进、技术改进及自主研发三个阶段。由图 1 可知，其技术研发投入在后期，企业的研发风险较低且效率较高。因此只要勇于投入研发，技术水准赶上先进国家和地区的目标是可以实现的。

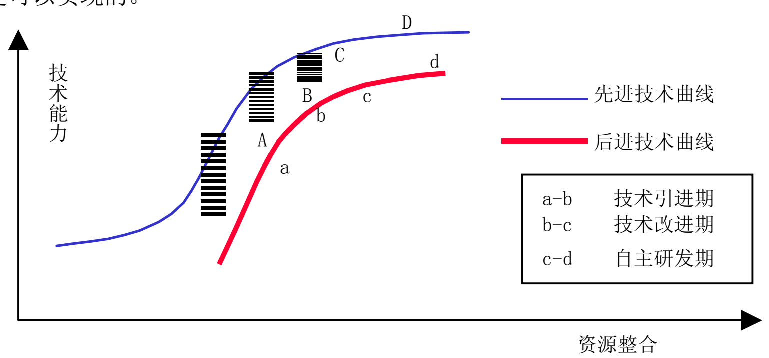


图 1　后发企业的技术学习曲线

1996 年 Bierly 指出，技术学习是指在组织之内产生新的知识，它是通过 R&D、训练或是生产经验获得知识。技术学习是将组织之外知识带进组织之内的流程，并且将新的知识和组织内现有的知识基础进行整合。外部知识主要通过守门人(Gatekeeper)在组织和组织之外的环境进行联结。另外，外部学习可以通过战略联盟方式取得技术知识。在技术密集产业，战略联盟是一个重要的学习渠道。外部学习流程开始于知识来源。知识来源来自于客户、竞争者和本身产业之外的来源。组织可以从相关产业获取知识，也可以通过客户、供货商取得技术知识。很多产品的创新不只是来自组织内的 R&D，也来自于客户意见。

在经济全球化背景下，旨在利用集中的 R&D 设施、降低开支、分散风险和协调竞争的战略联盟是技术扩散的主要形式，它通常存在于垂直专业化生产，即产品供应链企业间的技术共享和专业化生产之中。除了上述技术扩散模式外，还存在着许多其他路径，如培训、商业访问、商业印刷品、内含技术的产品销售、售后服务或岗位培训、会议中发生的信息传播、示范效应或逆向工程等。人力资本的流动是技术从跨国公司扩散到发展中东道国的一条重要途径。跨国公司一般都会对本公司的当地雇员进行培训，而这种培训正是形成向东道国技

术溢出的基础。跨国公司的培训包括各个层次：从生产操作员工到监管人员，从高级技术人员到上层的经理人员。培训的方式也多种多样，既有岗前培训和现场指导，也有专家讨论会，甚至派出海外接受正规的学历教育。

跨国公司是全球知识创新的主导者，其散布于全球的生产活动促进了知识传播。跨国公司带来了相对先进的生产设备、产品制造技术和管理经验，通过技术学习，激励着东道国企业和劳动者进行更多的技术培训和技术投资，在一定程度上促进了东道国的技术进步，给东道国带来明显的外溢效应，特别是节省发展中国家获取最新技术的投资成本和时间成本。因此，本文通过技术学习、组织文化、战略联盟三层次研究海尔等后发企业的国际化优势构建。

2 海尔的国际化优势构建

海尔集团位于山东青岛，其前身是1955年组织起来的一个手工业生产合作社，在1959年调整成为青岛电机厂（后改名为东风电机厂），主要生产交直流电动机、电葫芦。在研制成功民用吹风机、小台风扇后跨入家电行业。1979年先后研制出单缸洗衣机和滚筒洗衣机。1980年3月经青岛市二轻局批准，青岛东风电机厂、青岛工具四厂合并成立青岛日用电器厂。1979～1983年期间，青岛日用电器厂共生产了“白鹤”牌洗衣机5.8万多台。1983年，产品因质量问题被淘汰。因此，青岛日用电器厂着手进行电冰箱生产技术方面的国内市场考察和生产的准备工作。1984年1月1日，经青岛市经委批准，企业正式启用青岛电冰箱总厂的名称。在对市场考察的基础上，企业决定引进国外先进技术和设备，与德国利勃海尔工程有限公司签订了电冰箱制造技术合同。1984年企业面临的环境是全国生产电冰箱的厂家已有将近100家，国外产品蜂拥而入，各种牌号的电冰箱充斥市场，其中不乏有“部优”“省优”产品，竞争十分激烈。当时的青岛电冰箱总厂有员工820人，年生产电冰箱740台，销售收入348万元，固定资产500万元，年亏损额147万元，全员劳动生产率4200元，出口为零，企业面临着严重的生存危机。

2.1 海尔的技术学习

海尔的技术学习过程是以“引进—改进—自主创新”为主线进行的，并逐渐在国外投资建厂，展开R&D活动，实现国际化的发展。电冰箱是海尔最早的产品之一，电冰箱产品的发展可以说是海尔发展的一个缩影。从1984年引进德国利勃海尔电冰箱生产线至今，海尔引导了国内电冰箱市场一次又一次的升级换代，用十多年的时间赶超国际同行50年走过的路。在整个技术学习过程中，海尔在电冰箱技术上的创新能力得到了明显的提升。在技术引进的初期，海尔自身的创新能力很弱，经过对引进技术的消化吸收和改造，逐渐积累了电冰箱技术，增强了自身技术创新能力，如表1所示。

表1 海尔在电冰箱技术上的技术学习过程

创新阶段	主要活动	研发重点	创新类型
引进阶段（1984～1987）	琴岛利勃海尔帅王子BCD-212型	学习掌握国外引进技术	无创新
模仿阶段（1988～1991）	双开门电冰箱	生产工艺的创新，零部件的国产化	工艺创新
改进阶段（1992～1997）	超节能全无氟冰箱；降噪技术；下置式冷冻室抽屉技术	对已有技术的改进	改进性产品创新
自主创新阶段（1998～）	数字变频冰箱；网络电冰箱；负7度保鲜技术；电冰箱门电动开启装置；语音开门的电冰箱	不同技术的整合创新，跟踪世界前沿技术	产品组合创新

资料来源：根据文献[4]整理

通过20多年的创新摸索，海尔积累了一些技术学习、创新的经验。已累计申报专利8795项，其中发明专利2261项；已累计主导和参与中国国家标准215项，其中172项已经发布，并有10项获得了国家标准创新贡

献奖。在产品创新方面，首创开放式模卡流媒体电视，更可以根据不同需求更换不同的功能扩展模卡，满足不同消费者的需求；热水器“防电墙”技术，为消费者提供了安全洗浴生活方案，已正式成为电热水器新的国家标准，并被纳入 IEC 国际标准。目前，海尔参与行业及其他标准 441 项，是参与国际标准、国家标准、行业标准最多的中国家电企业，也是唯一一个进入 IEC 管理决策层的发展中国家家电企业代表。

海尔关注企业知识的积累，产品 96 大类 15 100 种规格，零部件种类与技术文件繁多，为下一步技术学习提供基础。早期技术解决方案之前，包括图纸、文档、零部件等信息散落在不同的系统中，版本不统一，企业无法进行标准化工作的推进，在质量的控制、生产、采购环节也不断出现了诸多的问题。现在海尔使用的 Siemens 数字化产品生命周期管理软件来解决这些问题，建立了集中的零部件和文件库，目前 100%的技术图纸都已采用数字格式（过去只有 80%）存储在库中。企业文件进行标准化处理，可以消除原先因订单出错而导致的经济损失，以及由于错误的文件而造成的制造方面问题。

2.2 海尔的组织文化

海尔的组织文化是以“企业—个人”为主线进行互动创新的，并通过“国内—国外”文化渗透为路径实现国际化的发展（如图 2 所示）。海尔通过《海尔企业文化手册》等企业内部刊物，通过对新员工的教育、日常的案例教学、漫画教学、即时教学等多种形式向员工灌输独特的海尔文化，并将其融入公司管理体系，用企业理念、企业精神激发和培养员工的企业荣辱感、价值追求、参与需要等，加强员工对企业组织文化的认同感。为鼓励员工搞技术发明，海尔颁布了《职工发明奖酬办法》，设立了“海尔奖”“海尔希望奖”、“合理化建议奖”。对不够申请专利的小革新，在全集团通报表彰，并用职工名字命名革新发明，激励员工发挥聪明才智，涌现出了以一线职工命名的“晓玲扳手”“云燕镜子”“启明焊枪”“申强挂钩”等一大批技术发明和革新成果。正是由于这些员工的创造性劳动，海尔每天都有新的进步和超越。

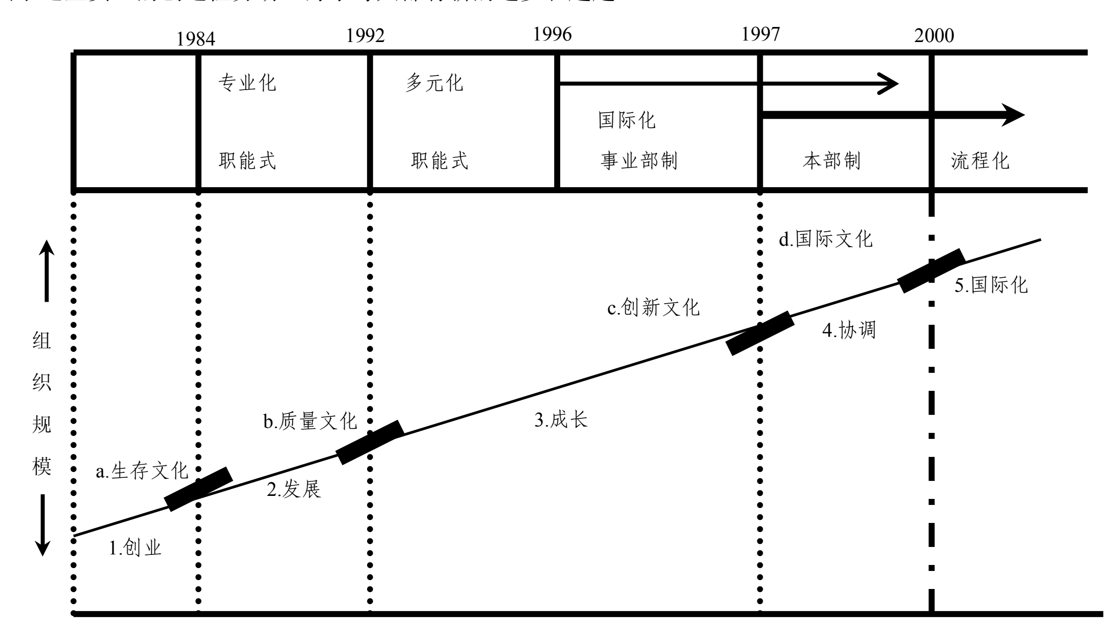


图 2 海尔国际化的组织文化演化

近年来，国内外曾发生多起电热水器洗浴伤人事故。但调查表明，在多数情况下，电伤人的罪魁祸首并非是热水器产品的质量问题，而是消费者家中的用电环境存在安全隐患。为解决这一问题，为消费者提供更安全的洗浴体验，2002 年海尔技术人员正式推出了防电墙专利技术，并将之应用到海尔热水器全线产品中。2003 年，为了进一步解决全球消费者面临的洗浴安全问题，海尔热水器携手中国家电标准化技术委员会，在第 68 届国际电工委大会上正式提出了防电墙技术提案，并一举赢得了众多专家的认同。2007 年 6 月，在芬兰赫尔辛基举行的国际标准大会上，中国家电标准化技术委员会代表再次对防电墙技术提案作了阐述。最终，依据参会

各国代表的意见，IECTC61 委员会决定，防电墙技术提案将在《家用和类似用途电器的安全储水式电热水器的特殊要求》最新版本的第 13.2 条款中特别注明对于类似中国等接地情况不良的国家。

海尔“真诚到永远”的服务理念，为广大消费者称赞。1994 年的“无搬动服务”、1995 年“三免服务”、1996 年“先设计后安装服务”、1997 年的“五个一服务”、1998 年的“星级服务一条龙”，核心体现了从产品的设计、制造到购买，从上门设计到上门安装，从产品使用到回访服务，不断满足消费者的要求。1999 年海尔专业服务网络通过 ISO9000 国际质量体系认证；2000 年星级服务进驻社区；2001 年海尔空调的无尘安装；2003 年海尔推出了“全程管家 365”。多年来，海尔的创新服务已经历了多次升级。

2.3 海尔的战略联盟

战略联盟公司概念首先由美国 DEC 公司总裁 J.Hoplan 和管理学泰斗 R.Nigel 提出，后来越来越多的实业界人士接受并实践了这个概念。海尔根据技术关联度和市场（用户、渠道和服务）关联度衡量，进入黑色家电领域之前，凭借战略合作并充分利用了技术和市场上的较高的相关度进行了有效的经营领域扩展，如图 3 所示。

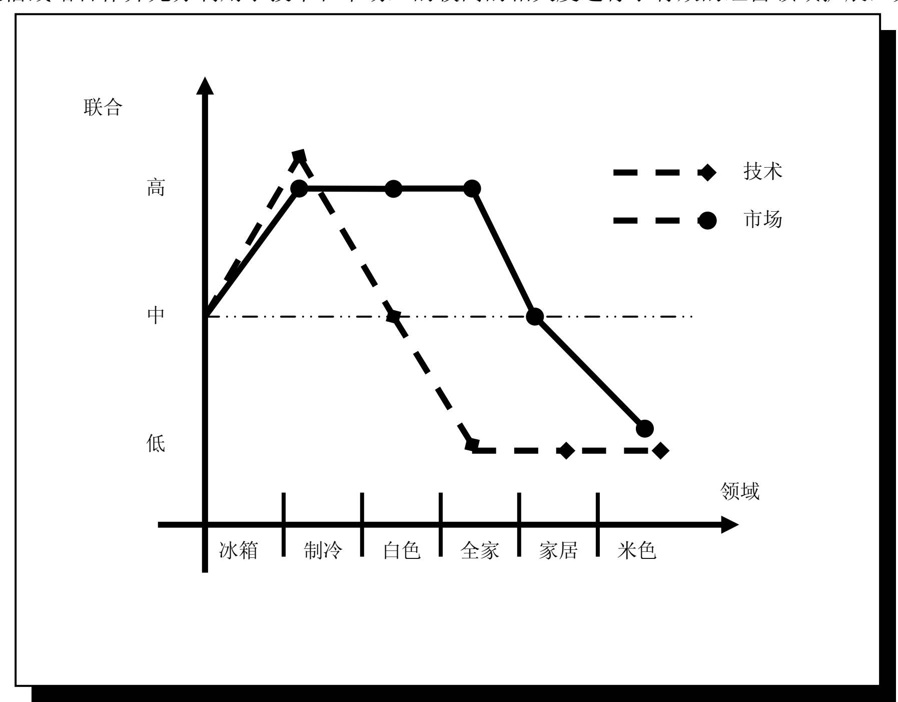


图 3　海尔在技术和市场领域的战略联盟

海尔 2002 年开始与三洋合作。三洋充分利用海尔的销售网络，在中国销售三洋品牌产品；在日本大阪，三洋海尔股份有限公司帮助海尔冰箱和洗衣机等家电产品进入日本市场；双方在生产基地方面的相互合作；扩大三洋零部件向海尔的供应及技术协作。海尔与三洋的合作并没有被限制在某个领域，而是把各自作为自己的战略伙伴。三洋在手机电池、计算机电池、数码技术、抢拍速度、TFT 液晶等电子技术处于世界领先水平。海尔发展手机、笔记本电脑、等离子彩电等电子产品离不开手机电池、TFT 液晶显示屏等关键零部件的支持。海尔生产冰箱、洗衣机等产品时，需要外购冰箱压缩机、洗衣机马达与调控器等零部件，而三洋在冰箱压缩机、调控器等零部件方面具有比较优势。海尔产品进入日本市场要有销售渠道的支持，与三洋的战略同盟而借用三洋的销售渠道，在日本销售海尔产品。通过三洋，海尔产品进入日本大型连锁店（JMS、Jasko、伊藤商社），量贩店（Ymada 山田、kozima 小岛、Best 电器等）、照相机店（yodohanbasi 照相机、big 照相机）等。三洋为海尔贴牌生产滚筒洗衣机，进入日本市场。

包括三洋在内所有在华的跨国家电企业最大竞争优势是技术与产品开发，销售渠道是其软肋。而海尔、TCL

等中国家电企业正好相反，竞争优势主要是拥有覆盖全国、渗透到三级城市的销售网络与售后服务网络。长期以来，跨国家电企业大多将国内一级城市作为营销主战场，二、三级及农村市场只能通过代理商运作。同时，渗透中国二、三级市场国外企业可以借助本土企业。一方握有技术（包括零部件开发技术），另一方拥有销售网络，这构成了中外家电企业联合的基础。三洋在零部件供应与产品开发方面具有比较优势；海尔在生产规模、营销网络等方面具有优势，资源互补，互相需求构成海尔与三洋合作的基础。

3 结论

海尔在国际化优势构建的过程中，面临组织、技术和文化等都需要摸索与学习的情形。从原来只有生产线到必须有研发设计来配合；又由原先只有青岛的研发人员，到后来雇用美国的技术人员，可知海尔充分展现了技术学习的特性。从海尔国际化的过程中，该公司已能在各种不同优势下运用国外的技术资源，包括人力资本结构、创新技术来源、市场与顾客的需求等。而且该公司甚至亦采取一些技术策略运用，例如以购并的方式取得工程与研发设计人员，使该公司能够掌握先进技术的重要研究成果与技术方向。另外，企业还是可以采取正式或非正式的方法来降低沟通的障碍及提升沟通的成效。前者包括企业全球信息系统的运作、单一语言的使用、全球产品开发指导原则的制定等。后者则包括指定专人负责在全球各地技术开发单位的沟通与协调。

参考文献

[1] Hobday M. Innovation in East Asia：The Challenge to Japan[R]. Edward Elgar，1995

[2] Bierly P E，Chakrabarti A K. Technological learning，strategic flexibility，and new product development in the pharmaceutical industry[J]. IEEE transactions on engineering management，1996，43(4)：35-50

[3] Bierly P E，Hamalainen T. Organizational learning and strategy[J]. Scand. J. Mgmt，1995. 11(3)：209-224

[4]吴晓波等. 全球化下的二次创新战略——以海尔电冰箱技术演进为例[J]，研究与发展管理，2003(6)：35-39

[5] 葛京等. 基于知识利用和知识发展的企业国际化过程分析[J]. 中国软科学，2009(9)：123

Late-comer Enterprises of Global Advantage：Case on Haier

Lu Rui Wang Jun

(1. Tongji University，Shanghai，200092;

2. Jiangsu Association of SS，Jiangsu Nanjing，210002，China)

Abstract：Late-comer enterprises may realize technology catching-up by advantages of late-comer，but the technology gap, Latecomer enterprises only to certain technical learning to implement technology catching-up. Late-comer enterprise accumulation technology by the act or process，it could build enterprise international advantage.The article analysis Haier's success in the technical learning and full use of technology resources，Building of its international advantage.

Keywords：Late-comer Enterprises; Technology Learning; Haier

创新型企业创新能力和创新潜力评估研究

王　恰　崔晋川
（中国科学院应用数学研究所　北京　100190）

摘　要：本文采用数据包络分析（DEA）和弹性分析的方法，对我国 24 个地区的创新型（试点）企业的创新能力和创新潜力进行实证研究。根据这些地区创新型企业的投入、产出数据建立 CCR 模型、BCC 模型和潜力分析模型，实现对其创新能力和创新潜力的评估。评估结果表明，由于发展的侧重点不同各个地区创新型企业的创新能力有强有弱。但就整体而言，这些创新型企业的创新潜力都很好，适宜加大投入规模。在此基础上，本文还将就各个地区的创新型企业创新能力和创新潜力进行了灵敏度分析，从而为创新型企业的改进和调整提供相应的理论依据。

关键词：数据包络分析（DEA）；弹性分析；创新能力评估；创新潜力评估

0　引言

当今时代，科学技术日新月异，科技创新成果不断涌现，科技竞争日益激烈。创新型企业代表的是一种崭新的企业运行和发展模式。为更好地对企业自主创新状况进行评价和激励，为完善相关政策提供决策依据，同时发挥评价的向导作用，引导更多企业走创新驱动发展道路，2008 年科技部、国资委、全国总工会三部门决定开展创新型企业评价工作，由此也就提出了对创新型企业评价研究的需求。[1]

目前国内外常用的综合评估方法有几十种之多，不同的评估方法各有利弊[2]。从总体上看，可分为两类，一类是主观评估法，即数据信息来自专家打分。层次分析法（Analytic Hierarchy Process，AHP）是一种应用较为成熟的主观评价方法。它能够较好地考虑和集成综合评价过程中的各种定性和定量信息，方法简单、易于操作，但是在应用中仍摆脱不了评价过程中的随机性和评价专家主观上的不确定性及认识上的模糊性。这使得评价过程可能带有较大的主观臆断性，从而使结果的可信度下降。

另一类是客观评估法，即数据信息来自统计数据本身。数据包络分析方法(Data Envelopment Analysis，简称DEA) 是由运筹学家A.Charnes及W.W.Cooper和E.Rhodes于 1978 年提出的一种建立在投入（输入）、产出（输出）数据之上的系统分析方法[3]。它是以“相对效率评价”概念为基础，评价具有相同类型的多项输入、多项输出的决策单元（Decision Making Units，简称DMU）相对有效性的非参数方法。DEA方法依据统计到的投入数据和产出数据，能够充分考虑对于决策单元本身最优的投入产出方案，因而能够更理想地反映评价对象自身的信息和特点。而且DEA方法不必预先确定输入输出之间可能存在的某种显式关系，这就排除了许多主观因素，因此具有很强的客观性。经过 30 年理论上与实践上的发展[4, 5]，如今应用DEA方法进行效率评价的领域已包括：学校、银行、农业、邮政、机场维护、医疗机构、交通运输系统、电力工业系统、矿业资源开发利用及生产企业等等，其应用领域还在扩大。

本文采用数据包络分析（DEA）和弹性分析的方法，对我国24个地区创新型（试点）企业的创新能力、创新潜力进行综合评价。输入指标选取研发费用支出总额和研发人员人数两项创新投入情况统计，输出指标选取增加值和主营业务收入两项经济指标总量情况统计。根据这些地区创新型企业的输入、输出数据建立CCR模型和BCC模型，得出创新能力评估值，从而实现对这些创新型企业的创新能力的评估。针对创新能力相对较低的

作者简介：王恰（1986-），女，北京人，博士研究生，主要研究方向：运筹学理论及应用、优化决策、数据包络分析；崔晋川（1955-），男，北京人，研究员，主要研究方向：运筹学理论及应用，包括优化与决策、信息系统建模与算法设计、管理运筹学、资源分配与评价

企业，运用投影分析的方法，为其找出与其他企业之间存在的差距。在此基础上，本文还将应用弹性分析的方法，给出对这些创新型企业创新潜力高低的一种精确评估。这不仅有助于企业自身的改进与调整，还有助于政府掌握这些创新型企业的发展状态，通过政策等方式对个别企业给予重点扶持，从而有效的推进创新型企业建设工作。

1 数据包络分析方法（DEA）

1.1 CCR模型

运筹学家A.Charnes及W.W.Cooper和E.Rhodes于 1978 年提出第一个DEA模型——CCR模型[3]。假设将要评估的决策单元有n个：DMU_i，i=1，2，…，n。每个决策单元都有m种输入和p种输出。其中第i个决策单元 DMU_i 的输入表示为 $x_i=(x_{1i},x_{2i},\cdots,x_{mi})^T$，输出表示为 $y_i=(y_{1i},y_{2i},\cdots,y_{mi})^T$，并且 $x_{si}\geqslant 0, y_{ti}\geqslant 0, s=1,2,\cdots,m; t=1,2,\cdots,p$。

令 $h_i=\dfrac{u^T y_i}{v^T x_i}$ 表示第 i 个决策单元 DMU_i 的效率评价指数，其中 $v=(v_1,v_2,\cdots,v_m)^T, u=(u_1,u_2,\cdots,u_s)^T$ 分别对应于输入权重和输出权重。当对 DMU_0 进行效率评价时，选择一组权系数 $v=(v_1,v_2,\cdots,v_m)^T, u=(u_1,u_2,\cdots,u_s)^T$，在各个 $DMUs$ 的效率评价指数不超过 1 的条件下使 h_0 最大，于是有如下模型：

$$\max h_0=\frac{u^T y_0}{v^T x_0}$$
$$\begin{cases} h_i=\dfrac{u^T y_i}{v^T x_i}\leqslant 1, i=1,2,\cdots,n \\ u\geqslant 0, v\geqslant 0 \end{cases} \tag{1}$$

通过 Charnes-Cooper 变换，模型（1）的分式规划形式可以转换为等价的线性规划形式。在实际应用中，常用如下 CCR-Input 模型进行计算：

$$\min\theta$$
$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{n}\lambda_i x_i\leqslant\theta x_0 \\ \sum_{i=1}^{n}\lambda_i y_i\geqslant y_0 \\ \lambda_i\geqslant 0, i=1,2,\cdots,n \end{cases} \tag{2}$$

Input 模型（2）表示在一定产出下决策者追求的倾向是输入的减少，即求 θ 的最小值。所以模型（2）计算结果是基于投入的效率。而 Output 模型是指在一定的投入组合下，决策者追求的倾向是输出的增大，即求 θ 的最大值。因此，本文采用 Output 模型，计算基于产出的效率。CCR-Output 模型形式如下：

$$\max\theta$$
$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{n}\lambda_i x_i\leqslant x_0 \\ \sum_{i=1}^{n}\lambda_i y_i\geqslant\theta y_0 \\ \lambda_i\geqslant 0, i=1,2,\cdots,n \end{cases} \tag{3}$$

CCR-Output 模型（3）所得出的结果是大于等于 1 的，在实际应用中 CCR 评估值通常使用的是它的倒数（小于等于 1）。CCR 有效是指 CCR 评估值等于 1，CCR 无效是指 CCR 评估值小于 1。CCR 生产可能集是指集合 $P_{CCR}=\left\{(x,y)\mid x=\sum_{i=1}^{n}\lambda_i x_i, y=\sum_{i=1}^{n}\lambda_i y_i, \lambda_i\geqslant 0, i=1,2,\cdots,n\right\}$。CCR 前沿面是指由 CCR 有效的决策单元所构成的超平面，它包络了 CCR 生产可能集里所有的点。这就是称为“数据包络分析”的原因所在。

1.2 BCC模型

BCC模型由Banker，Charnes and Cooper于 1984 年提出的[6]。BCC模型是在CCR模型的基础上，深入讨论技术效率与规模效率的问题。技术有效是指输出相对输入而言已达最大，即该决策单元位于生产函数的曲线上。规模有效是指投入量既不偏大（冗余），也不过小（不足），处于规模收益不变的状态。

微观经济学中，所谓规模收益递增、不变、递减，是指落在生产函数曲面上评估对象生产状态的规模收益为递增、不变、递减。例如，图 1 曲线表示的生产函数 $y=f(x)$。评估对象 DMU1、DMU2、DMU3 落在生产函数上，而 DMU4 仅落在生产可能集内，未落在生产函数上。称 DMU1、DMU2、DMU3 都处于技术有效的状态。但是，DMU1 不是规模有效的，实际上它处于规模收益递增的状态。对 DMU1 增加一定的投入后，沿着 $y=f(x)$ 产出的增加比例将会大于投入的增加比例。这意味着相对于其他决策单元来说，DMU1 的投入量存在着一定程度的不足，适宜扩大投入规模。DMU3 也不是规模有效的，它处于规模收益递减的状态。对 DMU3 增加投入后，沿着 $y=f(x)$ 产出的增加比例将会小于投入的增加比例。这意味着相对于其他决策单元来说，DMU3 的投入量存在着一定程度的冗余，适宜缩减投入规模。DMU2 是规模有效的，它处于规模收益不变的状态，即投入规模大小相对适宜，不需要做调整。

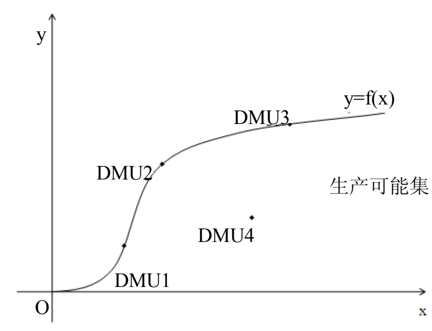


图 1　技术有效、规模有效，以及规模收益示意图

如果用CCR模型来评估这4个决策单元的相对有效性，那么只有DMU2对应的最优值是1，DMU1、DMU3、DMU3 的 CCR 评估值均小于 1。这是因为 CCR 模型评估的是在规模收益不变前提下的相对效率。因此 CCR 有效（CCR 评估值等于 1）的经济含义是：不仅仅是技术有效的，还是规模有效的。

对于 CCR 无效（CCR 评估值小于 1）的决策单元来说，无效性除了可能来自于本身的投入、产出配置不当导致 CCR 效率不高之外，还有可能是源自决策单元规模所处的规模收益状态这个因素。所以若能了解各个决策单元所处的规模收益状态，将有助于评估对象做规模上的调整，进而实现更有效的发展。由此提出 BCC 模型来评估在规模收益可变前提下的相对效率。BCC-Output 模型如下：

$$\max\theta$$
$$\begin{cases}\sum_{i=1}^{n}\lambda_i x_i \leqslant x_0\\ \sum_{i=1}^{n}\lambda_i y_i \geqslant \theta y_0\\ \sum_{i=1}^{n}\lambda_i = 1\\ \lambda_i \geqslant 0, i=1,2,\cdots,n\end{cases}\tag{4}$$

BCC-Output 模型（4）所得出的结果也是大于等于 1 的，在实际应用中 BCC 评估值通常使用的是它的倒数（小于等于 1）。BCC 有效是指 BCC 评估值等于 1，BCC 无效是指 BCC 评估值小于 1。BCC 生产可能集是指集合 $P_{BCC}=\left\{(x,y)\mid x=\sum_{i=1}^{n}\lambda_i x_i, y=\sum_{i=1}^{n}\lambda_i y_i, \sum_{i=1}^{n}\lambda_i=1, \lambda_i\geqslant 0, i=1,2,\cdots,n\right\}$。BCC 前沿面是指由 BCC 有效的决策单元所构成的超平面，它包络了 BCC 生产可能集里所有的点。

比较 BCC 生产可能集 P_{BCC} 和 CCR 生产可能集 P_{CCR}， P_{BCC} 增加了对 $\sum_{i=1}^{n}\lambda_i=1$ 的约束，这使得 BCC 模型建

立在规模收益可变的前提下。如果用 BCC 模型来评估图 1 中这 4 个决策单元的相对有效性，那么 DMU1、DMU2、DMU3 对应的最优值都是 1。因此，BCC 有效（BCC 评估值等于 1）的经济含义仅仅是技术有效的，而 BCC 前沿面也通常被看作对评估体系构成的生产函数一种模拟。

应用BCC-Output模型的计算结果，还可以判别决策单元的规模收益情况。对于BCC有效的决策单元（落在BCC前沿面上的决策单元）而言，它处于规模收益递增的状态，当且仅当对模型（4）任意的最优解，有 $v_0 > 0$；它处于规模收益不变的状态，当且仅当对模型（4）存在一个最优解有 $v_0 = 0$；它处于规模收益递减的状态，当且仅当对模型（4）任意的最优解，有 $v_0 < 0$ [7]。而对于那些BCC无效的决策单元（没有落在BCC前沿面上的决策单元，如图 1 中的DMU4），判定他们的规模收益状态，通常的做法是考虑决策单元在BCC前沿面上的BCC投影点，由BCC投影点的规模收益状况所决定。BCC投影点是指由模型（4）最优解 $\lambda_i^* z$，得到的一组投入产出数据 $\left(\bar{X},\bar{Y}\right)$，其中 $\bar{X} = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i^* x_i, \bar{Y} = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i^* y_i$，可以证明 $\left(\bar{X},\bar{Y}\right)$ 是位于BCC前沿面上的。

2 创新型企业创新能力评估

本文使用的数据来源于《2009中国创新型企业发展报告》[1]，研究覆盖了2008年我国24个地区创新型（试点）企业的发展情况。由于辽宁省缺失数据较多，故将其排除在评估体系之外，不予评估。各地创新型（试点）企业是从所在地的重点骨干企业和龙头企业中选择，突出了地方经济建设的发展方向与重点。输入指标选取研发费用支出总额（亿元）、研发人员人数（人）两项创新投入情况统计；输出指标选取增加值（亿元）、主营业务收入（亿元）两项经济指标总量情况统计。2008年，全国24个地区创新型（试点）企业的统计数据见表1。

表 1　全国 24 个地区创新型企业 2008 年创新投入和经济指标情况一览表

统计数据					
地区		研发费用支出（亿元）	研发人员（人）	增加值（亿元）	主营业务收入（亿元）
NO.	DMUs	Input 1	Input 2	Output 1	Output 2
1	北京	45.1	22 587	524.1	1003.6
2	河北	42.9	21 114	238.7	1087.3
3	陕西	26.7	27 642	634.47	2440.9
4	内蒙古	38.7	8934	439.3	1460.7
5	吉林	48.8	11 300	903.9	2679.2
6	黑龙江	20	10 129	155.8	552.1
7	上海	88.1	12 270	353.6	2113
8	江苏	139.1	44 799	694.1	3720.6
9	浙江	18	5066	94	456
10	安徽	67.5	44 880	716.6	2787.7
11	福建	16.5	23 866	557.9	1329.4
12	江西	34.4	8614	304.2	1415.4
13	山东	16	41 635	1097	5348
14	河南	63.2	27 773	697	1743
15	湖南	64.8	23 456	406.7	1356.9
16	广东	299.1	122 388	851.9	5130.4
17	四川	34.1	4230	957.4	2176.4
18	云南	14.5	9885	172.5	1610.6
19	甘肃	12.6	10 786	250.4	1064.9
20	青海	9.4	1525	50.4	266.5
21	宁夏	7.6	3193	105.1	272.9
22	新疆	6.3	1514	36.4	171.9
23	大连	14.5	7586	161.6	403.6
24	宁波	11.9	5501	49.8	266.8

下面采用DEA的评价方法，对我国24个地区的创新型（试点）企业进行创新能力的综合评价。将表1中的输入、输出数据带入CCR-Output模型（1.3）和BCC-Output模型（1.4）中进行计算，得到各地区创新型（试点）企业的创新能力CCR评估值和BCC评估值，评估值的高低反映该地区创新型企业创新能力的高低。然后依据评估值的高低对这24个地区的创新型试点企业进行排序，结果如表2所示。

表 2　全国 24 个地区创新型企业创新能力评估一览表

统计数据					
地区		CCR评估值	CCR排名	BCC评估值	BCC排名
NO.	DMUs	CCR Score	CCR Rank	BCC Sore	BCC Rank
1	北京	0.3394758	14	0.5108633	18
2	河北	0.2437134	21	0.3013574	22
3	陕西	0.5599555	7	0.6072113	15
4	内蒙古	0.5000609	9	0.5672058	16
5	吉林	0.7266343	4	0.9651745	7
6	黑龙江	0.2615259	20	0.2772582	23
7	上海	0.3662499	12	0.7392977	9
8	江苏	0.3130854	18	0.6956993	11
9	浙江	0.3127573	19	0.3532662	21
10	安徽	0.336195	15	0.6532361	14
11	福建	0.6805929	5	0.7177203	10
12	江西	0.5301346	8	0.5554677	17
13	山东	1	1	1	1
14	河南	0.3318929	16	0.6668163	12
15	湖南	0.2345339	22	0.3956094	20
16	广东	0.18067	24	0.9593119	8
17	四川	1	1	1	1
18	云南	0.8908853	3	0.9891703	5
19	甘肃	0.5881347	6	0.6593119	13
20	青海	0.4169814	11	1	1
21	宁夏	0.4201605	10	0.9663821	6
22	新疆	0.35662	13	1	1
23	大连	0.3221337	17	0.3965361	19
24	宁波	0.2225716	23	0.2753946	24

从表 2 可以看出，山东、四川这两个地区创新企业的创新能力 CCR 评估值是 1（CCR 有效的），它们的 CCR 排名为前两名。创新型企业创新能力的 CCR 前沿面由这两个地区构成。山东、四川、青海、新疆这四个地区创新企业的创新能力 BCC 评估值是 1（BCC 有效的）。由于山东、四川这两个地区创新型企业的创新能力 CCR 评估值也是 1，说明这两个地区创新型企业达到了规模有效的状态。它们处于规模收益不变的状态，投入规模适宜，既不过大，也不过小。

而青海、新疆这两个地区创新型企业尽管创新能力 BCC 评估值是 1，但创新能力 CCR 评估值却很小（青海：0.4169814，新疆：0.35662）。这意味着这两个地区创新型企业仅仅是处于技术有效的状态，尚未达到非规模有效的状态。相对于其他地区的创新型企业来说，青海、新疆这两个地区的创新型企业或者是投入规模过

小，或者是投入规模过大，需要进行一定的调整。

其他20个地区创新型企业尚未达到技术有效的状态。这说明在当前投入水平下，它们的产出水平仍存在一定的提高空间，其创新能力有待进一步的提高。江苏、广东这两个地区的创新型企业投入规模过大，在创新能力评估中并不占优势，创新能力BCC评估值排名分别是第11名以及第8名。其中创新能力BCC评估值排名后5位的地区分别是：宁波、黑龙江、河北、浙江、湖南。这些地区的创新型企业，相对于其他地区的创新型企业来说，产出与投入的效率比过低，企业当务之急是提高自身增加值和主营业务收入。例如宁波地区，对其进一步考虑BCC-Output模型（4）的对偶形式，可以看到输出第二项（主营业务收入）比输出第一项（增加值）的权重大，因而提高主营业务收入可以使宁波地区尽快的提高创新能力BCC评估值排名。

表3　全国20个地区创新型企业（创新能力评估为非BCC有效）BCC投影数据一览表

统计数据					
地区		研发费用支出（亿元）	研发人员（人）	增加值（亿元）	主营业务收入（亿元）
NO.	DMUs	Input 1	Input 2	Output 1	Output 2
1	北京	25.217185	22 587	1025.9106	3732.9048
2	河北	25.929959	21 114	1020.4131	3608.0079
3	陕西	22.771108	27 642	1044.7764	4161.5223
4	内蒙古	31.82377	8934	974.9559	2575.2559
5	吉林	30.67888	11 300	983.7861	2775.871
6	黑龙江	20	10 129	627.59041	1991.2846
7	上海	30.209504	12 270	987.40626	2858.1181
8	江苏	16	41 635	1097	5348
9	浙江	18	5066	469.47437	1290.8112
10	安徽	16	41 635	1097	5348
11	福建	16.5	23 866	777.32232	3347.8466
12	江西	31.978615	8614	973.76162	2548.1229
14	河南	22.707718	27 773	1045.2653	4172.6299
15	湖南	24.94185	23 156	1028.0341	3781.1507
16	广东	16	41 635	1097	5348
18	云南	14.5	9885	450.9138	1628.2333
19	甘肃	12.6	10 786	408.47358	1615.4136
21	宁夏	7.6	3193	108.75616	442.99576
23	大连	14.5	7586	407.52914	1365.5059
24	宁波	11.9	5501	286.83973	968.79152

对这尚未达到技术有效的20个地区创新型企业来说，BCC-Output模型计算得到的投影数据给出了一组在尽量维持当前投入规模下，实现技术有效（BCC有效）所需调整的投入规模和产出规模。表3列出了这20个地区创新型企业BCC投影数据情况。在当前评估体系下，表3中的数据可以使这些地区的创新型企业由原本BCC无效的状态改进为BCC有效的状态，实现技术有效。然而对比表1中的投入、产出数据可以发现，对某些地区来说由BCC-Output模型给出的投影数据，可能与原数据相差甚远，这意味着评估对象需要对其投入产出水平做很大的调整。例如宁波地区的创新型企业，投影数据保持了原始的投入规模不变，但产出规模做了相当大的调整，增加值由49.8需要扩大到286.83973，调整幅度为原来的475.98%；主营业务收入由266.8需要扩大到968.79152，调整幅度为原来的263.12%。

3　创新型企业创新潜力评估

创新潜力分析是对创新型企业未来发展状态的一种预测。根据 BCC 评估结果可以对创新型企业规模收益进行判别。规模收益反映的是当投入规模扩大一定比例后，产出规模相应的调整比例大小。当规模收益递增表示产出扩大的比例大于给定投入规模扩大的比例；规模收益不变表示产出扩大的比例等于给定投入规模扩大的比例；规模收益递减表示产出扩大的比例小于给定投入规模扩大的比例。

在对创新型企业进行创新潜力分析时，倘若仅仅依据他们各自所处的规模收益状态尚不够精确。特别是分析处于相同规模收益状态下不同地区的创新型企业时，将无法区分他们创新潜力的高低。这就需要在判别规模收益的基础上，给出对创新型企业创新潜力高低的一种精确评估，由此引入弹性分析的方法。在数学上，弹性的概念是指相对变化率，即自变量变化 1%所引起因变量变化的百分数。考虑生产函数 $f(x)$ 作为因变量时，$f(x)$ 上某一点 x_i 的弹性是指

$$E_i = \lim_{\Delta \to 0} \frac{\Delta f(x_i) / f(x_i)}{\Delta x_i / x_i} = \frac{\partial f(x_i)}{\partial x_i} \cdot \frac{x_i}{f(x_i)} \tag{5}$$

这是一种不依赖与任何计算单位的计量法，即是无量纲的。

因此，对于那些位于生产函数上（BCC 有效）的决策单元来说：

$E_i > 1$ 表示点 x_i 是富有弹性的，分母自变量的变动幅度小于分子生产函数的变动幅度。如图 1 中的 DMU1，处于规模收益递增的状态，它的弹性 $E_1 > 1$。

$E_i = 1$ 表示点 x_i 是单位弹性的，分母自变量的变动幅度等于分子生产函数的变动幅度。如图 1 中的 DMU2，处于规模收益递增的状态，它的弹性 $E_2 = 1$。

$E_i < 1$ 表示点 x_i 是缺乏弹性的，分母自变量的变动幅度大于分子生产函数的变动幅度。如图 1 中的 DMU3，处于规模收益递减的状态，它的弹性 $E_3 < 1$。

弹性分析是指分析在生产函数上的评估对象（BCC 有效的），其投入规模是否适宜，潜力评估值大小 E_i 反映了评估对象 DMU_i 投入规模不足和冗余程度大小。

对于那些未落在生产函数上的评估对象，如图 1 中的 DMU4，它是非 BCC 有效的。计算 DMU4 的弹性时，采取与判定规模收益状况同样的做法，首先将 DMU4 投影，再由投影到生产前沿面的投影点的弹性决定 DMU4 的弹性。

在多项输入、多项输出的情况下，弹性的定义将被推广。设 $\alpha > 1$ 表示对全部的输入项增加一个任意的增量，$\beta \geqslant 1$ 表示由此可以达到的输出值的增量。记点 (X_i, Y_i) 增加为 $(\bar{X}_i, \bar{Y}_i)$，那么 $(\bar{X}_i, \bar{Y}_i) = (\alpha X_i, \beta Y_i)$。根据公式（5），点 (X_i, Y_i) 的弹性可以表示为 $E_i = \dfrac{\beta - 1}{\alpha - 1}$。

因此，在对决策单元 DMU_i 进行弹性分析时，对于一个落在生产函数上（BCC 前沿面）的决策单元，只需要在 BCC 前沿面上找到一个新的点 $(\bar{X}_i, \bar{Y}_i) = (\alpha X_i, \beta Y_i)$，使得弹性 $E_i = \dfrac{\beta - 1}{\alpha - 1}$ 能够取到最大值。计算模型如下：

$$MaxE_i = \frac{\beta - 1}{\alpha - 1}$$
$$\begin{cases} s.t. \sum_{j=1}^{n} X_j \lambda_j \leqslant \alpha X_0 \\ \sum_{j=1}^{n} Y_j \lambda_j \geqslant \beta Y_0 \\ \lambda_j \geqslant 0, j = 1, \ldots, n \\ \alpha > 1, \beta \geqslant 1 \end{cases} \tag{6}$$

而对于那些未落在生产函数上的决策单元 DMU_i，则需要首先对其进行 BCC-Output 投影，然后用投影点来计算决策单元 DMU_i 的弹性值。

以下是对我国 24 个地区创新型（试点）企业进行创新潜力的综合评价。首先依据 BCC-Output 模型的计算结果，对这些创新企业的规模收益状态进行分类，然后应用弹性分析模型（6）进行创新潜力评估，评估结果如表 4 所示。

表 4　全国 24 个地区创新型企业创新潜力评估一览表

统计数据				
地区		研发费用支出（亿元）	弹性评估值	投入规模
NO.	DMUs	RTS RTS of Projected DMU	Elasticity Score	调整
1	北京	常数	1	保持不变
2	河北	常数	1	保持不变
3	陕西	常数	1	保持不变
4	内蒙古	常数	1	保持不变
5	吉林	常数	1	保持不变
6	黑龙江	常数	1.1934	扩大规模
7	上海	常数	1	保持不变
8	江苏	常数	1	保持不变
9	浙江	增长	1.2983	扩大规模
10	安徽	常数	1	保持不变
11	福建	增长	1.115	扩大规模
12	江西	常数	1	保持不变
13	山东	常数	1	保持不变
14	河南	常数	1	保持不变
15	湖南	常数	1	保持不变
16	广东	常数	1	保持不变
17	四川	常数	1	保持不变
18	云南	增长	1.2365	扩大规模
19	甘肃	增长	1.2384	扩大规模
20	青海	增长	3.5488	扩大规模
21	宁夏	增长	1.8692	扩大规模
22	新疆	增长	3.2399	扩大规模
23	大连	增长	1.282	扩大规模
24	宁波	增长	1.3974	扩大规模

黑龙江、浙江、福建、云南、甘肃、青海、宁夏、新疆、大连、宁波这10个地区的创新型企业，BCC-Output模型判定为规模收益递增的状态，这意味着如果对其投入规模增加一定的比例后，将获得更大比例的回报，即投入扩大后的产出增加效率比较高。进而应用弹性分析模型（6）对其创新潜力进行精确的评估。从表4可以看出青海、新疆这两个地区的创新潜力评估值较大，这表明在增加值和主营业务收入上具有较大的增长潜力，目前的投入规模存在很大的不足，故宜做扩大投入规模的调整。与其他同处于规模收益递增的阶段的创新型企业相比，在扩大投入规模时这2个地区的创新型企业应给予一定的侧重。

在该评估体系中，没有评出处于规模收益递减状态的创新型企业。这表明，这些企业未来的发展潜力都很好，扩大投入规模对他们都是有益的，这些地区的创新型企业在增加投入后，产出的增长比例会不会小于投入的增长比例。

4 结论

本文采用数据包络分析（DEA）和弹性分析的方法，对我国 24 个地区的创新型（试点）企业的创新能力和创新潜力进行实证研究。通过建立 CCR 模型、BCC 模型和弹性分析模型，实现对这些创新型企业的创新能力和创新潜力的综合评估。创新能力评估结果表明，由于地方经济建设的发展方向与重点不同，这些创新型企业的发展有着不同的侧重点，各个地区创新型企业的创新能力有强有弱。针对创新能力相对较低的企业，运用投影分析的方法，为其找出了与其他企业之间存在的差距和原因。从整体来看，这些企业创新潜力都很好，扩大投入规模对他们来说都是有益的，即对其扩大投入规模后，产出规模的增长比例不会小于投入的增长比例。为了进一步精确的评估创新潜力的高低，本文应用弹性分析的方法对 10 个处于规模递增状态的创新型企业进行评估和分析，建议政府通过政策等方式对个别地区的企业给予重点扶持，从而有效的推进创新型企业建设工作，引导更多企业走创新驱动发展道路。

参考文献

[1] 中国创新型企业发展报告编委会. 2009 中国创新型企业发展报告. 北京：经济管理出版社，2009

[2] 李新男，梅萌. 中国创新型企业案例. 北京：清华大学出版社，2010

[3] A.Charnes，W. W. Cooper，and E. Rhodes，Measuring the efficiency of decision making units，European Journal of Operational Research，1978，2(6)：429-444

[4] W.W. Cooper，L. M. Seiford，and Kaoru Tone，Data Envelopment Analysis：A Comprehensive Text with Models，Applications，References，and DEA-Solver Software，Kluwer Academic Publishers，Norwell，MA，2000

[5] 魏权龄. 数据包络分析，北京：科学出版社，2004

[6] R.D. Banker，Estimating most productive scale size using data envelopment analysis，Eur. J. Oper. Res. 17 (1984) 35–44

[7] 韩松. DEA 方法进行规模收益分析的几点注记，数学的实践与认识，2003，33(7)

Evaluation Study on Innovative Capability and Innovative Potentiality of Innovative Enterprises

Qia Wang，Jin-Chuan Cui

(Institute of Applied Mathematics，Chinese Academy of Sciences，
Beijing，100190，China)

Abstract：This paper applies Data Envelopment Analysis (DEA) and Elasticity Analysis to an empirical study on innovative capability and innovative potentiality evaluations for 24 national innovative enterprises. According to inputs and outputs data of these innovative enterprises，we build CCR model，BCC model and elasticity analysis model to measure their innovative capability and innovative potentiality. The evaluation results show that innovative capability is varied because of different development focuses. As a whole，these innovative enterprises have great innovative potentialities，and they all need to expand on inputs. Further analysis on innovative capability and innovative potentiality for each enterprise will be illustrated，so as to provide a scientific basis for adjustment and improvement.

Keywords：Data Envelopment Analysis (DEA); Elasticity Analysis; Innovative Capabilities Evaluation; Innovative Potentiality Evaluation.

基于经济学分析的北京市职业安全与防范研究

李　军
（中央财经大学财经研究院　北京　100081）

摘　要：职业病的大量发生，与经营者的利益博弈有关。研究分析了北京职业生产中出现的安全事故和火灾及其损失，并对企业经营者成本收益三种情形进行阐述，在对经营者加大职业保护的风险成本与反职业保护的博弈分析，以及信息知情权下的工人最优安全水平解释的基础上，提出制度改革的一些措施。

关键词：职业安全；职业风险；风险防范

0　前言

随着北京地区产业结构的调整，职业病危害因素在过去以高温、粉尘、重金属为主的基础上，出现了噪声、微波、高频、电离辐射、光气、高分子化合物污染等多元化的趋向。北京市卫生局新闻发言人邓小虹介绍，北京市的职业病主要有四大类，第一是尘肺，包括煤工尘肺、矽肺、石棉肺，占全部新发职业病的95%。第二是职业中毒，以苯、汞、硫化氢、氯气、一氧化碳中毒最为常见。第三是物理因素所致的职业病，以噪声耳聋、职业性眼病为主。第四是职业性皮肤病，以接触性皮炎、化学性皮肤灼伤常见。职业疾病与职业事故持续不断的发生，不仅导致人员死亡与终身残疾，还使国家、企业与劳动者个人付出巨大的经济和精神、安全代价。劳动者个体生命的损失、健康的损失，不仅带来劳动者就业能力的损失、收入的损失，还会增加个人的贫困、国家的困难，降低国家或区域竞争力。如何对职业病和职业事故进行防范，下面从经济学角度加以分析。

1　北京市职业病和安全事故概述

北京在职业病发生的情况中，粉尘、重金属、有机溶剂、高分子化合物、有毒物品等是最重要的职业病危害因素，占到全部职业病发病的六成。近年来，北京市诊断的职业病患者持续上升，2006～2008三年累计新诊断职业病患者2635人，是2003年到2005年职业病患病人数总和的1.37倍。2010年5月31日，仅在北京市房山区史家营乡被关闭的煤矿上，就已经有120多人被确诊为尘肺病，甚至还有几人已达到了病变三期的严重程度。门头沟区煤矿每年也有200多人死于尘肺病，他们无疑被医学宣判了“无期徒刑”，这不仅是家庭经济的损失，同时也增加了国家扶持的难度。

另外，有些职工，在生产过程中，由于安全意识薄弱或存侥幸心理，违反规章制度、操作规程而冒险作业，从而发生安全生产事故，北京市2004～2009年死亡1人以上的重大安全事故分别是150起、145起、172起、170起、106起、101起，死亡人数分别为177人、175人、196人、192人、124人、123人，北京市安全生产详细情况如表1所示。

作者简介：李军（1966-），中央财经大学财经研究院、北京财经研究基地副研究员，管理学博士

表 1　北京市安全生产情况表（2004～2009）

项　目 年　度	生产安全事故 数（起）	事故指数 2004=100	生产安全死亡 人数　（人）	死亡指数 2004=100
2004	150	100	177	100
2005	145	96.7	175	98.9
2006	172	114.7	196	110.7
2007	170	113.3	192	108.5
2008	106	70.7	124	70.1
2009	101	67.3	123	69.5

资料来源：北京市安全生产监督管理局整理

由表 1 可以看出：发生死亡人数在 2 人以上的事故起数，2004 年有 27 起；2005 年 30 起；2006 年 24 起；2007 年 22 起；2008 年 18 起；2009 年 22 起。他们分别占当年事故的概率如表 2 所示。

表 2　北京市生产事故概率情况表（2004～2009）

项　目 年　度	生产安全事故 起数　（起）	死亡 2 人以上 起数　（起）	死亡 2 人以上事故 概率%
2004	150	27	18
2005	145	30	20.7
2006	172	24	14
2007	170	22	13
2008	106	18	11.3
2009	101	22	21.8

资料来源：北京市安全生产监督管理局整理

从表 1 可以看出，事故指数和死亡指数是同步变化的，将 2004 年的指数作为 100，分析得出，2005、2009 年死亡指数大于事故指数，说明至少有一起事故比较大；2006、2007、2008 死亡指数小于事故指数，说明重大事故发生的比较少，这与表 2 分析的事故概率是一致的。

北京市 2003～2009 年合计发生火灾事故 46 997 起，直接经济损 21 732.93580 万元，北京市火灾及损失明细情况如表 3 所示[①]。由表 3 可知：电器和用火不慎是造成火灾的主要原因，不良的吸烟习惯也占比较大的比例。但是由生产作业引起的事故，其经济损失比电器和用火不慎更严重。火灾不仅造成惨重的直接财产损失，它造成的间接财产损失更为严重，轻则影响生活生产，重则会造成大量的人员伤亡 。为了更直观的对比，用折线图 1 表述如下。

① 数据来源于北京市公安局消防局

表 3　北京市火灾及损失情况表（2003～2009）

项　目	数　量（起）							直接经济损失(万元)						
	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年
合　计	5243	4718	8498	8496	8450	6015	5577.0	1002.6	1226.0	1028.0	1012.7	884	724.5	15 855.1
特别重大火灾		1					1		81.9					15 072.2
重大火灾	1	1						10.0	0.2					
较大火灾						1	1						0.8	0.5
一般火灾				8496	8450	6014	5575				1012.7	884	723.7	782.4
起火原因														
电　器	1449	1318	1920	1926	2201	1791	1714	307	353	327.8	315.7	362.3	225.6	365.6
生产作业	194	177	221	218	393	263	219	116.4	136.5	56.3	56.2	115.5	70.3	96.2
生活用火不慎	1283	1112	1800	1946	1669	1195	1064	109.5	110.9	110.9	117.1	115.1	93.7	71.7
吸　烟	498	422	1218	1329	942	706	665	16.1	23.8	27.6	24.4	24.6	17.3	27.1

资料来源：北京市公安局整理

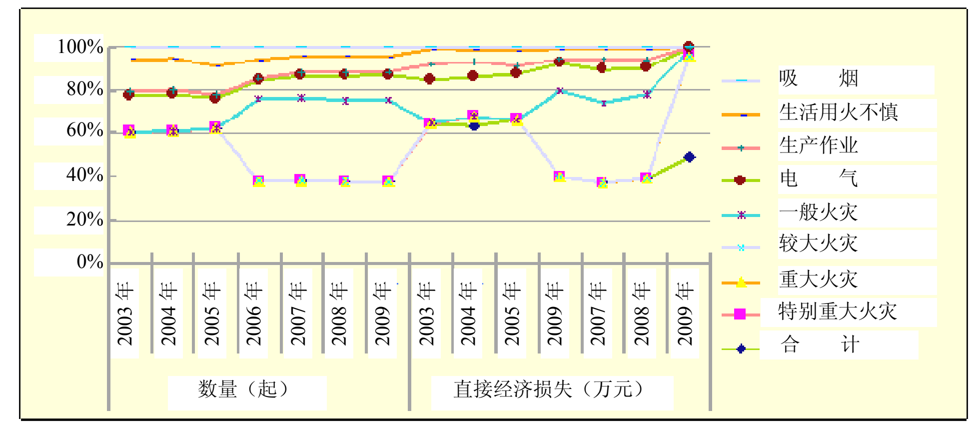


图 1　北京市火灾及损失

2　经营者成本收益分析

经济学家斯密认为：“每个人都不断地努力为他自己所能支配的资本找到最有利的用途。固然，他所考虑的不是社会利益，而是他自身的利益。”帕累托认为，“经济人”总是在比较其边际效用，看怎样才能使自己的利益最大。在市场经济条件下，企业经营者作为“经济人”为了使自身的利益最大化，就可能利用制度、法律、政策的漏洞来逃避对劳动者的健康保护，以给自己带来巨大的利益空间。

经济学认为，利益最大化这种经过“科学”决策的理性行为，是经营者在权衡成本和收益后实施的。因为经营者总是选择非合理的“低成本”支出，以获取其所期望的“高收益”。下面将经营补偿行为的成本支出和收益分别称为经营补偿成本和经营补偿收益，而将两者之间的关系称为经营补偿成本收益原则。

运用经营补偿成本收益原则分析经营，可以得到以下三种情形：

（1）经营补偿成本＜＜经营补偿收益

当经营补偿成本远小于，即绝对小于经营补偿收益时，经营补偿成本几乎为零。在这样一个无风险、高收益的情形下，必然导致经营者不重视职业危害因素防范。

（2）经营补偿成本＜经营补偿收益

当经营补偿成本小于经营补偿收益时，经营是一件低风险、高收益的经营。因此，在这种情形下，经营不

仅必定存在，而且还会发展成较为普遍的状况。

（3）经营补偿成本≥经营补偿效益

当经营补偿成本等于或大于经营补偿收益时，就会形成经营的高风险、低收益的情形。经营补偿成本等于经营补偿收益，支出与收益相抵，结果等于“0”；经营补偿成本大于经营补偿收益，亦即经营者，发生了亏空，经营行为无利可图，经营活动便失去了意义。

因此，只有在经营补偿成本≥经营补偿收益的这种杜会情形下，经营才可能被有效地遏制，反经营工作才能够防患于未然。

通过以上分析发现：任何决策，不外是对收益风险进行比较分析。如果从经济、政治、制度、法律诸方面造就经营补偿成本≥经营补偿收益的社会约束和社会氛圈，企业带病经营就能得有效遏制。

3　经营者加大职业保护的风险成本与反职业保护的博弈分析

从上面的分析可以看出，加大经营者的职业伤害补偿成本，可以减少企业带病经营，从而降低经营风险，而且从实践中我们知道加大对经营者的风险成本最具效力。

面对企业经营风险，经营者是如何来确定职业保护风险成本的大小的呢？也就是说，经营风险成本是怎样的一个函数呢？对经营状况的实际考察和分析，经营风险成本是经营行为的败露概率和对经营行为的惩处力度的二元正比函数，即经营风险成本=f （败露概率，惩处力度）。这个函数表明，如果经营行为的败露概率越大，那么经营者的经营风险成本就越高，反之则低；同样的，如果经营行为败露之后对其的悠处力度越重，那么经营者的经营风险成本就越高，反之则低。

在现实生活中，经营者正是依据上述的经营风险函数来安排自己的经营时机、经营规摸和经营手段的。例如，在“严打”时，有些污染企业的经营行为的败露概率明显增大，亦即经营风险成本明显提高，于是，此时的经营者就会有所收敛，避免撞到“枪口”上。

我们再来分析对经营行为的惩处力度。首先，由于经营行为的败露概率很低，其完全败露概率更低，因此，通常采用对经营者的退赃惩处，力度是较轻的。第二，现实中，对经营者开除党籍、开除公职的惩处已是十分严厉的程度了。但事实上，这种惩处对于已有较高经营收益的经营者而言，所形成的威慑力仍然是很微弱的。经营行为的低败露概率加上对其的轻惩处力度，其结果导致经营的风险成本很低，从而必然驱使产生高收益的经营行为有增难减，屡禁不止，如表 4 所示。

表 4　风险败露与对惩处力度的关系

		对经营的惩处力度	
		对经营的惩处力度小	对经营的惩处力度大
经营败露概率	经营败露概率大	经营成本较低(2)	经营成本最大(4)
	经营败露概率小	经营成本最低（1）	经营成本较大(3)

经过观察分析后可以发现，经营风险事件发生的概率与经营损失的程度具有反比关系，即经营风险事件发生概率较高的经营风险，其经营风险损失的程度一般较低；而经营风险事件发生概率较低的风险，其经营风险损失的程度则一般较高。因此，经常发生的风险事件所造成的损失往往小于很少发生的那些风险事件所造成的损失。

4　信息知情权下的工人最优安全水平

从上面的分析可以看出，加大经营者的职业伤害补偿成本，可以促使经营者对职工的保护，预防企业带病经营，做到经济社会的共同受益。在工人对就业信息知情权下，工人可以选择最优安全水平。

在完全竞争的劳动力市场上，工人可以自由流动，拥有关于工作风险和受伤成本的充分信息，并追求效用最大化，因此工人可以在危险工作和非危险工作自由选择。工人对于更危险和更不愉快的工作，要求获得更高的报酬，同时高风险岗位的流动性更高，工作周期更短。由于工人对工作风险拥有充分信息，他们要求的风险津贴将等于没有被工伤保险覆盖的工伤或疾病的预期成本。工作场所的安全有助于保持厂商在特定人力资本投资上的收益。因此，对于信息完全情形，让市场的力量起作用，可达到最优的安全水平。

如果企业对工作环境的信息披露的不够完整，关于工作危险性的信息有限，或者工人低估了职业伤亡或疾病的个人风险，雇主将会提供低于最优水平的工作安全。由于没有意识到危险的存在，工人没有减少劳动的供给。因此，市场工资不包括由于工作风险增加而必须补偿给工人的工资补贴。即使处于表 5 中（4）的境地，受到最大的伤害，也难以取得最大的收益，如表 5 所示。

表 5　工作环境与信息披露关系

		信息披露	
		信息披露少	信息披露多
工作环境	危害概率大	伤害最大，收益较大(2)	伤害较大、收益最大(4)
	危害概率小	伤害、收益较小（1）	伤害、收益最小(3)

5　加强职业安全与防范的措施

由于经营者存在利益博弈行为，梳理以往的危害后果，可以发现均是信息不对称，利益驱动的结果。为实现劳动者职业安全与健康的根本好转，必须从以下几方面着手：

（1）引资制度改革。一些部门和行业为吸引投资，降低门槛，使未经职业病危害预评价和审查的企业开工投产，留下职业危害的隐患。针对这种现象，政府应立法强制执行职业病危害预评一票否决制。

（2）强化责任者刑事责任。用人企业为了片面追求经济利益，职业卫生管理不到位，导致劳动者接触大量有毒有害物质。在经营中明确责任人，加大事故责任追究力度，对于恶意隐瞒环境危害信息者，实行严格的问责制，必要的情况下，追究其刑事责任。

（3）提高劳动者素质。高素质的员工在遇到有关伤害时，能够积极及时地采取措施，以免伤害的继续，所以在招收新员工时要把好入门关，尽量招收有一定文化素养和基本技能的人员。

（4）加大革新防护投入。建立企业、地方、国家多渠道的安全投资机制，加大安全投入，消除安全隐患。同时，对于按规定从成本中列支的安全生产专项资金，要加强财务审计，确保专款专用。

6　结 论

安全事故和危害普遍存在，不可能根除。经营者博弈和市场失灵经常发生。当经营者用于职业防护的预期成本小于预期收益时，经营者才会接受政府的管制。为了防止政府管制的失灵，必须从制度上进行改革，提高就业的信息透明度。

参考文献

[1]　贾晓宏．北京职业病发病 3 年增 1 倍多 尘肺占职业病 95%[N]．北京日报，2009 年 4 月 16 日

[2]　卫生部 2009 年职业病防治工作情况通报[EB/OL]．http//www.gov.cn. 2010 年 4 月 28 日

[3]　（美）迈克尔·波特. 竞争论. 北京：中信出版社，2004

Study on Occupation Safety and Prevention Based on Economic Analysis in Beijing

LI Jun
（Institute for Finance and Economics Research，Central University of Finance and Economics，Beijing　100081，China）

Abstract：The occurring of a lot of occupational disease is related to the operator’s pursuit of interests. The paper analyzed the security incidents，fire and its damage，explained three cases of operator’s cost and income. And the paper put forward some measures for system reform based on the analysis of the argument between operators who call for increasing the risk cost of profession protection and the opponents，and the explanation of employee’s optimal safety level under the right to know the information.

Keywords：Occupation Safety;　Occupation Risk;　Risk Prevention

中国煤炭企业效率评价
——基于超效率DEA和Malmquist指数

张　华　吕　涛
（中国矿业大学管理学院　江苏 徐州　221116）

摘　要：本文运用超效率 DEA 模型，分析了 2006-2008 年我国 18 家煤炭企业效率，并从总效率、纯技术效率和规模效率三个方面进行分析，最后使用 Malmquist 指数对效率进步进行分解研究。研究结果表明，我国煤炭企业效率总体不高，72.2%的煤炭企业效率相对无效，一半的煤炭企业充分利用了现有投入，55.56%的煤炭企业处于规模递增阶段；煤炭企业效率呈现进步性变化，但技术进步指数降低，未来煤炭企业效率的提高有赖于技术进步程度的提升。

关键词：煤炭企业；效率；超效率 DEA；Malmquist 指数

0　引言

现代企业理论认为企业产生的根本原因在于提高经济效益，可理解为以最少的投入实现最大的产出，达到效率最优。所以说，效率问题伴随着企业的产生，而企业力求实现资源最优配置。煤炭是我国的基础能源，煤炭产业的发展与国民经济息息相关，因此评价煤炭企业特别是大型国有煤炭企业的效率是一项具有重大现实意义的课题。

近年来，国内诸多学者从不同角度研究了煤炭企业的投入产出效率问题，取得了很多有价值的研究成果。总的看来，数据包络分析法（DEA）是对煤炭企业效率分析的主流[1-4]。但是，大多数文献在使用DEA模型评价煤炭企业效率时存在以下不足之处：一是没有考虑到煤炭企业投入、产出的时间差；二是一般都选取C^2R模型，会出现多个决策单元同时处于有效生产前沿面上，即出现多个决策单元同时相对有效的局面，不能区别它们之间的有效的差异程度。因此本文采取超效率DEA评价（Super-efficiency DEA，简称SE-DEA），同时对样本数据进行平均化处理，以避免上述问题。另外，本文还运用了基于DEA方法的Malmquist指数方法分析了煤炭企业全要素生产率的动态变化，即探究煤炭企业效率是如何变化和何种因素导致煤炭企业效率的变化。

1　评价方法

1.1　超效率DEA

数据包络方法（DEA）是由运筹学家A．Charnes和W．W．Cooper等人于 1978 年所提出的，以相对效率概念为基础，评价具有相同类型的多投入、多产出的决策单元是否有效的一种效率评价方法。1993 年，Andersen和Peterson[5]提出了超效率DEA模型，其基本思想是：首先，在对决策单元进行效率评价时，将被评价的决策单元排除在决策单元的集合之外，此时，对于没有达到DEA有效的决策单元，其生产的前沿面不会发生变化，评价结果与C^2R模型相同。其次，对于DEA有效的决策单元，超效率模型将其生产前沿面进行重新计算推移，使得超效率模型最终计算出来的效率值大于C^2R模型效率值，显然该效率值有可能大于 1。假设有 n 个决策单元，

作者简介：张华（1988-），男，江苏盐城人，中国矿业大学管理学院，企业管理专业；吕涛（1974-），博士，硕士生导师，中国矿业大学能源经济与管理研究所副教授，研究方向为煤炭产业经济与市场营销

每个决策单元都有m种类型的“输入”和s种类型的“输出”，产出导向的SE-DEA模型数学表达式如下：

$$\min\left[\theta-\varepsilon\left(\hat{e}^{T}s^{-}+e^{T}s^{+}\right)\right]$$
$$s.t\begin{cases}\sum_{\substack{j=1\\ j\neq j_0}}^{n}\lambda_j x_j+s^{-}=\theta x_{j_0}\\ \sum_{\substack{j=1\\ j\neq j_0}}^{n}\lambda_j y_j-s^{+}=y_{j_0}\\ \lambda\geqslant 0;\ j=1,2,\cdots,n;\ s^{+},s^{-}\geqslant 0\end{cases}\tag{1}$$

（1）式中，X 和 Y 分别表示第 j 个决策单元的输入和输出可能集。θ为决策单元的效率值，θ≥1 说明决策单元为 DEA 有效；θ<1，说明决策单元不是 DEA 有效，表示决策单元的生产活动既不是技术效率最佳，也不是规模效率最佳。

1.2 Malmquist指数

Malmquist 指数是 Caves 等[6]在 Malmquist 数量指数与距离函数概念的基础上发展起来的，用于度量全要素生产率 TFP（Total Factor Productivity）变化的一种方法。根据 Färe 等，可将规模报酬可变下、面向产出的、以基期 S 到 T 时期为技术参照的 Malmquist 指数定义为

$$m(ys,xs,yt,xt)=\left[\frac{d_s^C(y_t,x_t)d_s^C(y_s,x_s)}{d_t^C(y_t,x_t)d_t^C(y_s,x_s)}\right]^{1/2}\left[\frac{d_s^C(y_t,x_t)d_s^V(y_s,x_s)}{d_t^V(y_t,x_t)d_s^C(y_s,x_s)}\right]\left[\frac{d_t^V(y_t,x_t)}{d_s^V(y_s,x_s)}\right]\tag{2}$$

（2）式中，$d^C(y,x)$ 为规模报酬不变下的距离函数，$d^V(y,x)$ 为规模报酬可变下的距离函数。公式第一项为技术进步变化（Tech），表示从 S 到 T 期间，决策单元生产技术的改变以及创新的程度；第二项为规模效率变化(Sech)；第三项为纯技术效率变化(Pech)，衡量变动规模报酬下两期效率之比；第二项与第三项的乘积为技术效率变化(Effch)，表示从 S 到 T 期间相对效率的改变，即决策单元在不同期间与最佳的前沿生产距离的变化。当 $m(y_s,x_s,y_t,x_t)>1$ 时，TFP 正增长；当 $m(y_s,x_s,y_t,x_t)<1$ 时，TFP 负增长；当 $m(y_s,x_s,y_t,x_t)=1$ 时，TFP 不变。当技术效率变化、纯技术效率变化、规模效率变化或技术水平变化大于 1 时，即表明它是 TFP 增长的源泉，反之，则是 TFP 降低的根源。

2 实证研究

2.1 确立决策单元

根据Cooper 等人的研究成果（2001）[7]，在应用DEA方法时，决策单元的数量需要满足以下条件：$n\geqslant\max\{m\times s,3(m+s)\}$，式中m和s分别代表投入和产出的变量个数。以此为依据，从下文 3 种投入变量和 2 种产出变量可知，只要选取 15 个决策单元就能够满足要求，本文为了全面评估煤炭企业的效率，选取了 18 家 2006～2008 年我国百强煤炭企业排名靠前的企业为研究样本。

2.2 建立指标体系

建立合理的投入产出指标体系是采用SE-DEA和Malmquist指数模型有效准确地评价煤炭企业效率的基础。DEA模型选取投入产出指标时一般将成本型指标作为投入指标，而将效益型指标作为产出指标。在生产活动中，资本与劳动是最基本的生产要素，而产出要素即为收入，煤炭企业也不另外。此外，参考文献[2-4]并根据数据的可得性，把投入指标设计为：总资产（X_1）、员工人数（X_2）、研发费用（X_3）；产出指标设计为：销售收入（Y_1）、净利润（Y_2）。

2.3 数据的来源

本研究的各指标数据均来源于《中国煤炭工业年鉴 2006～2008》。由于在指标体系中涉及研发费用这个变量，可能导致投入和产出存在时间差，即当年的研发费用可能在未来的几年都对产出有贡献。所以，在利用 SE-DEA 模型评价煤炭企业效率时采用了各煤炭企业 2006～2008 年投入产出的平均值作为各 DMU 的输入与输出值，具体数据如表 1 所示。另外，在利用 Malmquist 指数分析各煤炭企业全要素生产率的动态变化则采取 2006～2008 年的面板数据，因篇幅有限，数据不再列出。

表 1　各 DMU 的输入输出值

DMU	X_1/万元	X_2/人	X_3/万元	Y_1/万元	Y_2/万元
神华集团	26 461 226	146 664	79 037	8398039	1642733
中煤集团	6 879 757	100 569	66 855	5397364	314469
山西焦煤	5 117 729	146 859	132 000	3 004 482	52 352
晋城煤矿	3 453 032	72 009	13 992	2 457 357	50 635
淮南矿业	3 042 894	72 510	22 625	1 442 252	29 432
平顶山煤业	3 100 040	135 168	67 301	2 462 834	65 804
阳泉煤业	3 282 452	99 330	68 675	1 825 923	14 917
龙煤矿业	3 521 220	256 684	13 095	1 915 535	49 912
永城煤电	2 302 726	36 439	53 726	2 367 182	143 332
潞安矿业	2 616 488	54 313	11 022	1 984 351	30 925
陕西煤业	2 371 757	83 082	11 732	1 168 396	76 544
新汶矿业	2 791 327	76 523	47 845	1 847 691	44 816
淮北矿业	2 172 296	106 267	24 125	1 336 876	7 263
开滦集团	1 948 744	85 773	155 107	1 278 654	11 132
枣庄矿业	1 774 503	55 652	27 493	1 801 077	42 517
徐州矿务	1 592 847	55 607	22 816	1 259 251	14 568
河北金牛	1 437 188	45 487	14 343	1 011 387	23 459
铁法煤业	1 010 934	44 317	15 877	831 314	19 329

2.4 模型计算与结果分析

2.4.1 超效率 DEA

利用C^2R、BCC、SE-DEA模型，运用LINDO6.1 软件，可以计算出 2006～2008 年 18 家煤炭企业的效率，具体结果如表 2 所示。

表 2　煤炭企业效率评价结果

DMU	C^2R值	纯技术效率	规模效率	SE-DEA 值	效率排名	规模效率状况
神华集团	1.000	1.000	1.000	4.314	1	不变
中煤集团	1.000	1.000	1.000	1.109	4	不变
山西焦煤	0.571	0.638	0.895	0.571	17	递减
晋城煤矿	0.994	1.000	0.994	0.994	6	递减
淮南矿业	0.574	0.666	0.861	0.574	16	递增
平顶山煤业	0.775	0.793	0.977	0.775	12	递减
阳泉煤业	0.543	0.548	0.991	0.543	18	递增
龙煤矿业	0.845	0.889	0.950	0.845	7	递增

（续表）

DMU	C^2R值	纯技术效率	规模效率	SE-DEA 值	效率排名	规模效率状况
永城煤电	1.000	1.000	1.000	1.342	2	不变
潞安矿业	1.000	1.000	1.000	1.062	5	不变
陕西煤业	0.831	1.000	0.831	0.831	8	递增
新汶矿业	0.654	0.662	0.998	0.654	14	递增
淮北矿业	0.672	0.725	0.927	0.672	13	递增
开滦集团	0.638	0.700	0.912	0.638	15	递增
枣庄矿业	1.000	1.000	1.000	1.175	3	不变
徐州矿务	0.800	0.877	0.913	0.800	10	递增
河北金牛	0.799	1.000	0.799	0.799	11	递增
铁法煤业	0.810	1.000	0.810	0.810	9	递增
平均	0.806	0.861	0.936	--	--	--

（1）总效率值评价。总效率值由C^2R模型求得，并由SE-DEA模型进一步区分和排名。由表 2 中可知，只有神华集团、中煤集团、永城煤电、潞安矿业和枣庄矿业 5 家煤炭企业达到相对DEA有效，资源实现了相对最优配置，即这 5 家企业都处于“用现有投入获得最大产出”，以及“在满足同样产出标准条件，投入最小”的理想状态。值得指出的是，18 家煤炭企业在 2006～2008 年平均总效率值为 80.6%，尚有 19.4%改进和提高的空间。而且低于平均总效率值的煤炭企业达到 8 家，占样本的 44.44%，这些企业尤其要合理配置资源，减少投入冗余或充分利用投入增加产出。另外，从SE-DEA值可知，即使达到DEA有效的那些煤炭企业，其总效率也层次分明，神华集团的总效率值远远高于其他 4 家煤炭企业，其现有产出变为现在水平的 21.18%时，仍处于有效生产前沿面。永城煤电、枣庄矿业、中煤集团、潞安矿业这些达到DEA有效的企业其SE-DEA效率值并无较大区别。而 18 家煤炭企业排名最低的是阳泉煤业，其产出至少要提高到现有水平的 184.16%才能达到有效生产前沿面。

（2）纯技术效率评价。纯技术效率为 1 的煤炭企业除上面提到的 5 家外还有晋城煤矿、陕西煤业、河北金牛、铁法煤业共 9 家，占样本的 50%，说明这些煤炭企业充分地利用了现有的投入，已达到最大的产出结果，无浪费现象。在纯技术效率有效的后 4 家企业中，其总效率非DEA有效是缘于规模要素的影响，所以可以通过扩大生产规模来达到DEA有效。这是因为BCC模型剔除了C^2R模型中的固定规模报酬的假设，而考虑了这些决策单元的变动规模报酬。

（3）规模效率评价。规模效率为 1 的企业是总效率 DEA 有效的煤炭企业，说明这些企业处于固定规模报酬状态。2006～2008 年煤炭企业平均规模效率达到了 93.6%，好于平均总效率和平均纯技术效率。样本 18 家煤炭企业中只有山西焦煤、晋城煤矿和平顶山煤业 3 家企业处于规模效率递减的阶段，可能是由于过度的投入导致生产的扩张超越了企业的规模承受能力，从而使企业总效率不高。因此，这 3 家企业应该减少投入，调整适合自己企业生产经营的规模，从而使企业处于固定规模状态。此外，剩余的淮南矿业等 10 家煤炭企业均处于规模收益递增阶段，占样本的 55.56%。说明大部分煤炭企业还需要扩大生产规模，以提高整体经营效率。

2.4.2 Malmquist 指数

利用 Malmquist 指数模型，运用 DEAP2.1 软件，基于产出导向方法，对 18 家煤炭企业全要素生产率的动态变化进行评价，具体结果如表 3 所示。

表 3 2006-2008 年煤炭企业平均 Malmquist 指数及其分解

DMU	Effch	Tech	Pech	Sechq	TFP	Tfp 增长率/%
神华集团	1.000	1.596	1.000	1.000	1.596	59.6
中煤集团	1.000	0.912	1.000	1.000	0.912	-8.8
山西焦煤	1.101	0.952	1.230	0.895	1.048	4.8
晋城煤矿	0.940	0.841	0.980	0.959	0.790	-21.0
淮南矿业	1.019	0.947	1.010	1.010	0.965	-3.5
平顶山煤业	1.100	0.930	1.099	1.001	1.023	2.3
阳泉煤业	1.088	0.930	1.102	0.987	1.012	1.2
龙煤矿业	1.208	0.871	1.202	1.004	1.051	5.1
永城煤电	1.074	0.947	1.000	1.047	1.017	1.7
潞安矿业	1.000	0.918	1.000	1.000	0.918	-8.2
陕西煤业	1.122	0.930	0.978	1.148	1.044	4.4
新汶矿业	1.273	0.985	1.276	0.998	1.255	25.5
淮北矿业	1.108	0.885	1.099	1.008	0.981	-1.9
开滦集团	1.075	0.927	1.058	1.016	0.996	-0.4
枣庄矿业	1.000	0.884	1.000	1.000	0.884	-11.6
徐州矿务	1.159	0.891	1.118	1.037	1.033	3.3
河北金牛	1.065	0.869	1.000	1.065	0.926	-7.4
铁法煤业	1.117	0.903	1.000	1.117	1.008	0.8
平均	1.078	0.941	1.060	1.016	1.014	1.4
06-07TFP 变化	1.020	0.896	1.053	0.969	0.914	-8.6
07-08TFP 变化	1.138	0.989	1.068	1.066	1.125	12.5

由表 3 可知，2006～2008 年我国煤炭企业 TFP 的平均增长率为 1.4%，其中技术效率平均提高了 7.8%，技术进步平均降低 5.9%，说明全要素生产率的提高是由于技术效率的增长。而技术效率的增长是纯技术效率和规模效率共同增长造成的，其中，2006～2008 年我国煤炭企业纯技术效率平均增长 6.0%，规模效率平均增长 1.6%。从每一年变化来看，2006～2007 年我国煤炭企业 TFP 减低了 8.6%，其中技术效率增加 2.0%，技术进步减低 10.4%，而技术效率的提高是由于纯技术效率增加了 5.3%，尽管规模效率降低了 3.1%。由于技术进步降低的明显，最终导致了全要素生产率的降低。2007～2008 年我国煤炭企业 TFP 增加了 12.5%，即使技术进步降低 1.1%，但由于技术效率显著增加了 13.8%，最终使全要素生产率提高，归根结底是由于纯技术效率和规模效率都分别增加 6.8%和 6.6%。

从决策单元上来看，神华集团的 TFP 增长最快，为 59.6%，这完全归结于技术进步明显增加。其次是新汶矿业，TFP 增加了 25.5%，其技术效率增长了 27.3%，而技术进步却降低 1.5%，主要是由于其纯技术效率增加 27.6%。TFP 降低最多的是晋城煤矿，高达 21.0%，究其原因，其技术进步、纯技术效率和规模效率都有不同程度的降低。值得一提的是，18 家煤炭企业中有 8 家企业 TFP 为负增长，占样本总数的 44.44%。

3 结论

本文应用超效率DEA和Malmquist指数模型对 2006～2008 年我国 18 家煤炭企业效率进行了分析，解决了传统的C^2R模型对相对有效决策单元无法进行有效评价与比较的问题和投入产出存在时滞性两个问题，并测度了全要素生产率的动态变化，将其分解为技术效率变化和技术进步变化。通过研究，本文得出以下结论：

（1）从超效率 DEA 分析结果看，2006～2008 年我国 18 家煤炭企业中，只有神华集团、中煤集团、永城煤电、潞安矿业和枣庄矿业 5 家煤炭企业达到相对 DEA 有效，资源实现了相对最优配置。剩余的 72.2%的煤炭企业效率相对无效，整体形势不容乐观，资源利用效率低，各项投入要素的组合不佳，产出不足。此外，18 家煤炭企业在 2006-2008 年平均总效率值为 80.6%，尚有 19.4%改进和提高的空间。10 家煤炭企业处于规模收益递增阶段，应该加大投入，优化产业结构，科学配置投入要素比例，提升煤炭企业的投入产出效率。

（2）从 Malmquist 指数分析结果看，2006～2008 年我国煤炭企业效率呈现进步性变化，增长 1.4%，但效率的变化并不是由于煤炭企业的技术进步，而是完全由纯技术效率和规模效率的提高引起的。技术进步变化指数下滑 5.9%。其中，全要素生产率提高最快的是神华集团，为 59.6%。晋城煤矿的情况最不乐观，全要素生产率下降 21.0% 。虽然全要素生产率指数仍处于进步状态，但未来我国煤炭企业应着重加强技术进步，使技术进步提升，从而促进我国煤炭企业全要素生产率的提升。

参考文献

[1] 马占新，温秀晶. 基于面板数据的我国煤炭企业经济效率分析[J]. 煤炭经济研究，2010，29(7)：50-53

[2] 饶田田，吕涛. 基于 DEA 的大型煤炭企业经营效率评价与分析[J]. 中国矿业，2009，18(8)：27-31

[3] 姚平，梁静国. 我国煤炭企业效率测算[J]. 煤炭学报，2008，33(3)：357-360

[4] 杨广俊，王立杰. 基于 DEA 的煤炭企业集团公司相对效率的实证研究[J]. 经济管理，2010，33(7)：20-23

[5] Andersen, P., Petersen, N.C.. A Procedure For Ranking Efficient Units In Data Envelopment Analysis[J]. Management Science, 1993, 39(10): 1261-1264

[6] Caves, D.W, Christensen, L. R., Diewert, W. E.. The Economic Theory of Index Numbers and the Measurement of Input, Output and Productivity[J]. Econometrica, 1982, (5): 1393-1414

[7] Copper, W.W., Li, S., Seiford, L. M., et al.. Sensitivity And Stability Analysis In DEA: Some Recent Development[J]. Journal of Productivity Analysis, 2001, 15(3): 217-246

Evaluation of the efficiency of Chinese coal enterprises

——Based on super-efficiency DEA and Malmquist index

ZHANG Hua，LV Tao

(Management College，China University of Mining and Technology，Xuzhou 221116，China)

ABSTRACT: Super-efficiency DEA model is used in this paper to analyze the efficiency of 18 coal enterprises from 2006 to 2008, and that includes three aspects, the overall efficiency, pure technical efficiency and scale efficiency, and at last Malmquist index is used in the decomposition of efficiency progress. The results show that the overall efficiency of coal enterprises in China is not high, 72.2% of coal enterprises are relatively ineffective, half of the coal companies fully utilize the existing investment, 55.56% of the coal enterprises are in the ascending scale stage; the efficiency of coal enterprises show progressive changes, but technological progress index decreases, that means the improvement of the efficiency of coal enterprises depends more on the degree of technological progress in the future.

Keywords: coal enterprises; efficiency; super-efficiency DEA; Malmquist index

企业ERP业务流程绩效评估

何娟娟　梅洪常
（重庆工商大学企业管理　重庆　400067）

摘　要：随着社会信息化程度的加深，ERP 日渐成为一种新的管理理念和管理模式，它突破了以往把企业内部资源作为管理对象的观念，带来管理理念的创新，对企业的绩效产生了越来越重要的影响。目前对于 ERP 实施可行性、影响因素和关键成功因素的研究以及相关因素对实施 ERP 企业绩效的影响机制的研究很多。但是，分析 ERP 运行对企业业务流程影响的效果的研究相对较少。本文结合 BSC 建立一套业务流程绩效评估指标体系，再利用层次分析法，研究企业 ERP 运行对其业务流程影响的效果，从而帮助企业正确评价其业务流程绩效，提高 ERP 利用效率和企业的内部管理水平。

关键词：信息化；ERP；企业的绩效；业务流程；ERP 利用效率

0　引言

ERP（Enterprise Resources Planning）即企业资源计划，是由美国著名计算机技术咨询集团GartnerGroup公司于 1990 年提出的概念。ERP是指全面整合企业的内外部资源，高度集成计划、生产、加工和销售过程中的物流、资金流、信息流于一体的计算机管理信息系统。在引进ERP软件之前，我国各类型企业中各职能部门更多的是依靠在设计逻辑、数据类型以及用户界面等方面都带有各自专业职能特性的相互独立的专业软件来处理业务工作和财务工作，各事业部和职能部门之间被这些独立设计的信息系统切割成一个个“信息孤岛”，导致不同职能之间和发生在不同地域的业务状况联系松散和缓慢。再加之不同的职能部门对同一信息实体往往会有不同的理解，直接造成各部门间信息数据的差异。这些使得企业内部协调效率低下，工作成本增加，而工作负担却加重。更重要的是它严重影响企业领导层对全局的准确把握和科学的决策。由于ERP系统具有平台的同一性、信息的集成性、资源的开放性，通过对企业的采购、生产、供应、销售、库存等各个环节的有效控制，通过对人力资源、生产设备、资金等企业资源的信息化管理，可以使企业内部流转信息的准确性和速度大大提高，减少信息不畅带来的内部消耗，提高工作效率，控制生产和运营成本，从而帮助企业实现其终极目标：效益(利润)的最大化或成本的最小化。可见，企业实施ERP的目的是和企业的终极目标紧密相联的。随着信息化成为社会发展的趋势和企业生存发展的必然途径，ERP已经成为很多企业实用的解决以上一系列问题和实现信息化管理模式的重要手段，它对企业的绩效产生了越来越重要的影响。企业的业务流程绩效是企业实施ERP以后，由流程的改善带来的直接收益[6]。对我国企业ERP系统的业务流程绩效加以探讨，这不仅有助于正确认识ERP的作用和效果，还为将要实施ERP的企业提供参考。

本文拟通过分析 ERP 对企业业务流程绩效的影响机制，根据平衡计分卡建立一套完整的指标体系，再利用层次分析法对我国企业 ERP 业务流程绩效进行实例分析，评估和分析 ERP 系统在企业业务流程绩效方面取得的成绩，并为提高我国企业 ERP 实施效果提出管理建议。

作者简介：何娟娟（1986-），女，湖北十堰人，硕士研究生，主要研究方向：企业战略管理与规划；梅洪常(1958-)，男，四川彭山人，博士、教授，硕士生导师，主要研究方向：企业管理

1　ERP对企业业务流程绩效的影响机制

企业绩效评价是指运用统计或审计的方法建立适当的指标体系（财务指标与非财务指标），按照一定的标准与程序，对企业的经营状况或经营者的业绩作出评估。企业 ERP 项目绩效评价是继项目可行性分析、ERP 项目实施成功后的工作，涉及 ERP 计算机软件是否应用成功并带来企业效益。随着当前我国企业信息管理领域正逐步流行 ERP，企业绩效评价特指评价 ERP 资源管理项目实施的效益和企业整体应用 ERP 后的效果。很多研究结果表明：ERP 系统的使用和实施均对企业的绩效产生了积极的影响。

ERP实施产生的绩效分为业务流程绩效、营运绩效和盈利绩效[6]。企业的业务流程绩效是指通过对原有的流程的规范、优化、革新和固化，提高企业与供应商、客户以及内部员工之间的沟通水平，提高企业中高层的决策支持水平。其来源于企业内部的“最佳流程实践”，较少受到宏观经济等外部环境的影响。它是由流程的改善带来的直接收益。在此基础上，企业将获得库存周转率与应收账款周转率等日常营运能力改善的ERP营运绩效，并进而提升销售利润率与投资回报率等企业盈利能力，即ERP盈利绩效。

可见，ERP 业务流程绩效是获得 ERP 营运绩效与 ERP 盈利绩效的前提，它不仅直接影响企业的总体绩效，而且通过 ERP 的利用影响企业的营运绩效，从而又进一步影响企业的总体绩效如图 1 所示。对 ERP 业务流程绩效的评价不仅反映了我国企业 ERP 利用的效果，还对 ERP 利用是否产生了营运绩效和盈利绩效作出诠释。

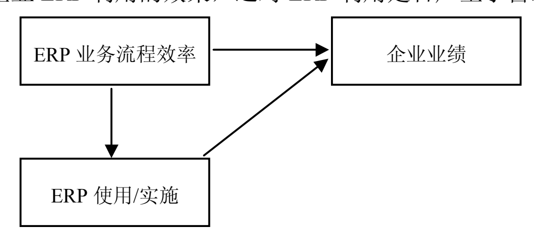


图 1　ERP 对企业绩效的影响机制

由于营运绩效和盈利绩效多数是与财务指标相关联，能够用比较量化的指标来分析。业务流程方面的指标多是一些难以定量的指标，而且是与动态的一系列业务流程紧密相连的，比较难以用定量的方法进行评估，所以学术界对于业务流程的绩效评估关注相对较少。而学术界产生的对企业整体绩效评价方法比较多，重点是对企业的战略性收益和经济性收益指标进行评价，例如经济增加值（EVA）评价法、ABCD 检测表和平衡计分卡等。

2　基于BSC建立评价企业ERP业务流程绩效的指标体系

平衡计分卡结构是目前比较流行的企业绩效评价指标体系之一。它与 ERP 结合的总体思想是：ERP 通过其四大功能—生产控制管理、供应链管理、财务管理和人力资源管理来实现企业战略目标，而 BSC 通过对企业战略目标进行分解，从四个不同的视角为分析和评估企业的绩效水平提供了全面的指标如表 1 所示。利用 BSC 指标体系评估实施 ERP 系统的企业绩效，既能检验战略目标的达成情况，也能检验 ERP 的利用效果。随着现代化管理信息系统的发展，平衡计分卡只有与 ERP 数据共享，高度集成，才能促进企业战略目标的实现，优化资源配置。而 ERP 系统实施的企业在利用平衡计分卡进行绩效评价时，可以把读取的 ERP 各功能模块中的数据映射到 BSC 相应指标中去，二者才能实现有效集成。平衡计分卡为 ERP 系统实施企业的绩效评价提供了很好的评价体系。

BSC 平衡计分卡指标体系的优点在于：为分析企业的绩效提供了全面的指标，克服了单纯利用财务手段进行绩效管理的局限，并且能有效连接企业战略、绩效管理和效益评估之间的关系。ERP 系统各模块的效果和各部门的绩效可以通过平衡计分卡四个方面的指标得到比较综合的评价。同样在大量数据统计的基础上，平衡计分卡这四个方面的指标可以细分为多个子指标来评价。

表 1　BSC 中企业绩效评价指标体系

企业整体绩效最大化 B	内部流程管理 B1	基础数据准确率 C_11
		生产计划实现率 C_12
		产品开发周期 C_13
		产品生产周期 C_14
		技术支持能力 C_15
	财务管理 B2	销售收入增长率 C_21
		资产报酬率 C_22
		流动比率 C_23
		资金周转率 C_24
		利润增长率 C_25
		存货周转率 C_25
	客户管理 B3	客户价值 C_31
		客户满意度 C_32
		市场份额 C_33
		客户忠诚度 C_34
		新客户获得率 C_35
	员工学习与成长 B4	创新能力 C_41
		员工培训投入 C_42
		员工技能 C_43

平衡计分卡中的内部流程管理对应 ERP 中计划、制造、质量、采购、库存和销售功能。把内部流程管理作为最上层指标，BSC 中子指标又划分为基础数据准确率、生产计划实现率、产品开发周期、产品生产周期和技术支持能力五项。基于平衡计分卡中的指标，结合 ERP 实际状况，紧紧联系可影响企业战略的相关因素，建立新的评价指标体系如表 2 所示。

表 2　基于 BSC 的企业业务流程绩效评价指标体系

	第一级指标	一级指标权重 W	第二级指标	二级指标权重 w_i	评价集 U				
					U_1 很好	U_2 好	U_3 一般	U_4 差	U_5 很差
内部流程绩效 B	基础数据准确率 B_1	w_1	物料清单准确率 C_11	w_11					
			库存数据准确率 C_12	w_12					
			质量信息反馈的及时性 C_13	w_13					
	生产计划实现率 B_2	w_2	高层决策支持水平 C_21	w_21					
			员工执行能力 C_22	w_22					
			企业制度规范程度 C_23	w_23					
	产品开发周期 B_3	w_3	研发费用占销售收入的比例 C_31	w_31					
			研发经费增长率 C_32	w_32					
	产品生产周期 B_4	w_4	生产计划准确率 C_41	w_41					
			工艺流程/路线准确率 C_42	w_42					
	技术支持能力 B_5	w_5	企业内部网络整体运行水平 C_51	w_51					
			计算机应用水平 C_52	w_52					
			遇到大型故障后的反应能力 C_53	w_53					
总计									

3　基于层次分析法的ERP系统实施企业的业务流程绩效实证分析

南京大学郑称德博士等人[2010]通过引入“使用者满意度”量表，研究了我国企业的ERP业务流程绩效。研究结论：无论是国企、私企还是外企，拟或制造性企业和服务性企业，ERP实施均有较好的用户满意度，显示我国各类企业的业务流程转变取得了不错的绩效[7]。

本文借鉴 BSC 中企业绩效评价指标体系，通过进一步分解这些指标，建立一套新的企业内部流程效率评价指标和实证研究帮助企业正确评估 ERP 项目的实施效果。

3.1　建立多层次综合评价体系模型

（1）设立一级准则因素集B=(B_2，B_2，B_3，⋯，B_n)和二级指标层因素集C_i=(C_{i1}，C_{i2}，C_{i3}，⋯，C_{in})，其中i=1，2，⋯，m，C_i即对应于每个准则因素的指标因素集（将ERP核心功能模块与BSC绩效评价的指标相互映射，评价其内部流程管理绩效的子指标体系就包括基础数据准确率、生产计划实现率、产品开发周期、产品生产周期和技术支持能力，见表 1)；

（2）设w_1，w_2，w_n，⋯为一级指标因素级的权重，w_i>0，$i\in$ [1，m]且$\sum_{i=1}^{m} w_1 =1$；

(3)设w_i=($w_{i1} w_{i2} w_{i3} \cdots w_{in}$)$w_{ij}$为$C_{in}$在二级指标层因素集$\sum_{i=1}^{m} C_1$中的权重，其中$i$=1，2，⋯$m$，$w_{ij}$>0($j\in$[1，$n$])且$\sum_{j=1}^{n} w_{ij} =1$(可先确定$C_{in}$在$C_i$中的权重，再乘以$C_i$在$B$=($B_1$，$B_2$，$B_3$，⋯$B_n$)

的权重 $w_i \, . \, w=\begin{pmatrix} w_1^{\mathrm{T}} \\ \vdots \\ w_i^{\mathrm{T}} \end{pmatrix}$。

（4）设U=（U_1，U_2，U_3，⋯，U_r）为一个评语级，例如：U=（A，B，C，D，E），U=（很好，好，一般，差，很差）；

（5）设 $A=\begin{pmatrix} X_1 \\ \vdots \\ X_n \end{pmatrix}^T = \begin{bmatrix} X_{11} & \cdots & X_{1r} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{n1} & \cdots & X_{nr} \end{bmatrix}$，其中$X_{jk}$（$j$=1，2，⋯，$n$；$k$=1，2，⋯，$r$）表示对因素$C_i$中的第$j$个因素$C_{ij}$作出的第$k$级评价度的隶属度，隶属度可由专家来打分；

（6）计算评价结果矩阵 $Y=W*A$.

3.2　实例分析

多层次分析法是对一些较为复杂和模糊的问题做出决策的简易方法，它把定量与定性的分析方法结合起来是美国运筹学家萨蒂（T.L.Saaty）教授于 20 世纪 70 年代初期提出的一种简便、灵活而实用的多准则决策方法。

某地区某制造行业分布着 100 多家大小不同的公司企业，其中有 8 家企业 A、B、C、D、E、F、G、H 规模大小、资产总值以及经营业绩都比较相似，且是行业中比较具有代表性的领头企业。这 8 家企业分别在 2003 年先后引进 ERP 项目并都取得良好的效果，但是也存在着一些问题。以 A 企业为例，我们对这些企业的流程效率分别进行评估。首先，我们将影响企业业务流程效率的因素基础数据准确率、生产计划实现率、产品开发周期、产品生产周期、技术支持能力分为 5 个层次，构建第一层指标层；再分别对每个因素进行细分构建第二层指标因素集。然后利用专家考核评分和模糊层次法确定各级指标的权重，得出多因素评价指标模型如下所示：

（1）一级指标因素集B=(B_2，B_2，B_3，⋯，B_5)，其中B_1=基础数据准确率，B_2=生产计划实现率，B_3=产品开发周期，B_4=产品生产周期，B_5=技术支持能力；

二级指标层因素集C_i=(C_{i1}，C_{i2}，C_{i3}，⋯，C_{in}) i=1，2，⋯5，其中C_{i1}=物料清单准确率，C_{i2}=库存数据准确率⋯，C_{21}=高层决策支持水平⋯；

权重集分别为w=(w_1，w_2，w_3，…，w_5)=（1/4，1/4，1/8，1/8，1/4）和w_i=（$w_{i1}w_{i2}w_{i3}\cdots w_{in}$），则$w_1$=$w_2$=$w_3$=（1/12，1/12，1/12），$w_3$=$w_4$=（1/16，1/16），权重值的确定可以采用专家打分法（每位专家分别对所有指标赋值，这些指标值相加为 1，每一个指标值的权重值即把所有专家对这一指标的赋值加总后进行加权平均)；

（2）设U=（U_1，U_2，U_3），U=（好，一般，差），U_1=U_2=U_3=1；

（3）$A=\begin{bmatrix} 0.6 & 0.4 & 0.6 & 0.1 & 0.3 & 0.7 & 0.5 & 0.9 & 0.7 & 0.3 & 0.2 & 0.3 & 0.1 \\ 0.2 & 0.5 & 0.2 & 0.8 & 0.6 & 0.1 & 0.4 & 0.1 & 0.1 & 0.4 & 0.8 & 0.1 & 0.5 \\ 0.2 & 0.1 & 0.2 & 0.1 & 0.1 & 0.2 & 0.1 & 0 & 0.2 & 0.3 & 0 & 0.6 & 0.4 \end{bmatrix}^{\mathrm{T}}$，矩阵中元素$A_{ij}$表示第$i$个指标对于评语集中每个元素的隶属值；

（4）利用 Y=W*A 求出评价结果矩阵：

Y=（1/12，1/12，1/12，…，…1/12，1/12，1/12）*A=(0.425，0.380，0.196)，l_1=0.425>l_2=0.380>l_3=0.196，可见企业实施ERP的整体效果还是比较好的（如果l_3大于l_1和l_2，则企业的流程绩效就需要大大改进了)；

（5）按照以上步骤可以评价其它的企业实施 ERP 的业务流程绩效好坏。

4　结论和建议

利用以上研究结论可以为企业提供以下建议：评估企业业务流程绩效的指标可以根据具体情况不同增加或减少相关指标，对企业业务流程绩效的评估可以同时采取定性和定量结合的方法来相互检验研究结果，把企业的绩效目标与 ERP 实施后企业的现状相对比进行评价，把高层管理人员和部门终端用户的满意度作为其中的考察指标。同时，企业绩效评估只是一种反馈控制手段，要使企业真正达到其战略目标，必须事先把考核的指标要达到的标准作为严格执行的尺度，也即在实行 ERP 项目时就必须契合企业总体战略制定好评价指标并不断完善为 ERP 应用后的考评提供工具，为这样通过前后馈控制才能达到更好的效果。

由于研究工具和经验的不足，以上研究尚存在不完善的地方。利用以上研究方法虽然可以为评估 ERP 企业整体业务流程绩效好坏提供参考，但是不能帮助企业找出具体的不足，所以有待完善。

参考文献

[1] 邓国如. 企业实施 ERP 的思考[J]. 武汉电力职业技术学院学报，2008(9)

[2] 陈新，刘娜. ERP 项目绩效定量评估方法研究[J]. 中南财经政法大学，2009(1)

[3] 郑称德，王全胜，陈曦. 我国企业 ERP 系统实施的业务流程绩效实证研究[J]. 评价研究，2010(1)

[4] 陈升，李传昭，张旭梅. 中国企业 ERP 实施绩效决定因素的实证研究[J]. 中国科技论坛，2005(1)

[5] 郑称德，王全胜等. 我国企业 ERP 系统实施的业务流程绩效实证研究[J]. 情报杂志，2010.09

[6] Vemuri VK，Palvia SC.Improvement in Operational Efficiency Due to ERP Systems Implementation：Truth or Math?[J]. In-formation Resources Management Journal，2006(2)：18-36

[7] 叶强，方安儒，鲁奇，李一军. 组织因素对 ERP 使用绩效的影响机制—基于中国数据的实证研究[N]. 管理科学学报，2010(11)

Study On The Business Process Performance For ERP System Implementation Enterprise

He-Juanjuan　Mei-Hongchang
(Chongqing Technology And Bussiness University，Chongqing　400067，China)

Abstract: With the developening of social information, ERP is becoming a new management concept and management mode, which broke the previous management of the enterprise internal resources as the concept of the object，bringing the innovation of management；through highly integrating a variety of information both inside and outside the enterprise to achieve maximum utilization of resources，the performance of modern enterprises is more and more influenced. Currently a feasibility study for the ERP implementation，impacted factors or critical success factors and ERP study on the impact of enterprise system of various performance are a lot. However，the analysis about how the implementation of the ERP system affecting business performance was relatively less. In this paper, establish a Business Process Performance Evaluation Index System based on BSC, then using the AHP to study the business impact of ERP business processes to run on its results，to help companies correctly evaluate the performance of their business processes, improve efficiency and enterprise ERP internal management level.

Keywords: information;　ERP;　the performance of companies;　efficiency of ERP

多周期多设备公用工程系统的混合整数优化算法及应用

冯铁军[1]　霍兆义[2]　尹洪超[2]

（1. 大连市经济技术开发区热力公司　辽宁 大连　116600;

2. 大连理工大学能源与动力学院　辽宁 大连　116024）

摘　要：本文提出了多周期公用工程系统的混合整数双线性优化模型，它含有两种优化变量和系统运行过程的离散动态约束，期望系统总设备投资（含设备折旧）与全周期运行操作费用之和最小。针对混合整数双线性优化求解上的困难，把混合整数双线性优化问题模型分解成有限多个关于连续变量的线性规划。并论述了混合整数双线性优化问题与分解模型的等价性，以及两种模型的主要数学性质。在此基础上构造了分解优化算法。最后将混合整数双线性优化模型应用于某石化企业的蒸汽动力系统最优设计与运行优化集成实例。

关键词：多周期多设备公用工程系统；混合整数双线性优化；离散动态约束

0　引言

公用工程系统是能源生产环节，向生产环节提供必需的电力、动力和工艺用蒸汽，是包括炼油石化行业在内的过程工业的重要组成部分。作为能源生产环节，公用工程系统同时也消耗大量的能源。公用工程系统的最优设计与优化运行是过程工业节能降耗，降低生产成本提高企业竞争力的重要途径。公用工程系统是由不同型号的锅炉、汽轮机、工业透平等多种设备组成，并在多种操作工况下运行。因此，系统设计包括结构设置、设备选型和运行策略制定，是提高公用工程系统热功联产效率和降低能耗的根本途径。多种设备多周期公用工程系统最优设计与优化运行的研究引起了众多国内外专家的关注。

多年来，针对最优设计和优化运行形成了三种比较成熟的方法：启发式方法、热力学目标法和数学规划法。1980 年，Nishio等[1]提出了减少蒸汽循环中可能的损失的启发式规则，并在热力学基础上进行了蒸汽动力学系统的优化设计。1982 年，Nishio等[2]对蒸汽、电力等多种需求进行了初步优化设计。Yoo[3]与Yi[4]对产汽过程与蒸汽分配网络运行建立了专家系统，并用牛顿迭代法与线性规划求解，大大提高了蒸汽系统的运行效率。1998 年，Lee M.H. et al., Papalexandri K. P. et al., Mavromatis S.P. et al., Strouvalis A.M. et al.[5-9]把分层分解方法应用于公用工程系统用以消除工艺数据误差；其次对汽轮机效率的不确定性，分析了各周期间设备启停，转换费用对总运行费用的影响，建立了多周期MINLP模型，提出了关于透平网络运行的优化方法。2000 年，Yi等[10]依据公用工程系统内部与外部能量需求变化提出了多周期运行的优化方法，建立了相应的MINLP模型。2003 年，Ueo等[11]建立了公用工程系统优化运行的MINLP模型，并开发了相应的软件。2004 年，Shang Z, Cheung K. Y. [12-14]为解决公用工程系统与化学过程间的交互作用，建立了全局公用工程系统蒸汽能级优化调度的多周期MILP模型，针对工艺生产过程与公用工程系统的设备维护与调度问题，给出了公用工程系统多周期最优设备维护与调度的且以经济效益最大的MI模型。夏燕萍等[15]，张国喜等[16]给出了公用工程系统的优化调度，但没考虑设备的启停费用，Iycr R. R.[17]等人虽考虑了设备的启停费用，但计算策略过于复杂。郭雨珍等[18]对多周期公用工程系统运行优化问题建立了混合整数非线性约束优化模型，构造了优化算法，研制了软件，并应用于具体实例，但该模型没有考虑设备利用效率，设备投资，且把设备折旧作为常数处理。

本文将构造多周期多设备公用工程系统运行混合整数双线性优化模型及优化算法，论述了依有限离散变量分解为有限多个线性规划与原问题的等价性，并应用于某石化企业的蒸汽动力系统最优设计与运行优化。

1　混合整数双线性优化模型

本文提出的多周期多种设备公用工程系统的最优设计与优化运行问题是混合整数双线性优化，包括两种优化变量（离散变量与连续变量）和系统运行过程的离散动态约束，期望系统总设备投资与全周期运行操作费用之和最小。

设多周期多种设备公用工程系统有m_1台锅炉，其中前u_1台为高压锅炉，后u_2台为低压锅炉，且$u_1+u_2=m_1$。有m_2台汽轮机，其中前v_1台汽轮机将高压蒸汽转换为中压蒸汽，后v_2台汽轮机将中压蒸汽转换为低压蒸汽，且$v_1+v_2=m_2$。有m_3个减温减压阀，其中前w_1个减温减压阀把高压转换为中压，后w_2个减温减压阀把中压转换为低压，且$w_1+w_2=m_3$。令$m_1+m_2=m$，$m+m_3=n$。设Mi，$i\in I_n$，为第i台设备容量，$M=\{M_1，M_2，\cdots，M_n\}$。一般取全周期为一年，单周期为一个月，T=12。

下边考虑系统的各种费用：

（Ⅰ）设$g1_t(x, y, M)$为在第t周期内的运行费用

$$g1_t(x,y,M) := y_{ue}\cdot\left[\sum_{i=1}^{m_1}(\overline{h}_t^i - h_t^i)\cdot x_t^i\cdot s\cdot y_t^i\right]/(q_t^i\cdot\eta) \tag{1}$$

设 x_t^i 为第t，$t\in I_T$，=｛1,2,⋯,T｝周期第i台设备的单位时间（小时为单位）的物流流量，且输入与输出的物流流量相同。设 h_t^i，$\overline{h}_t^i$，q_t^i 分别为每年第t周期输入第i台设备的物流焓，从第i台设备输出的物流焓及燃料的物流焓，η 表示燃料的利用率，s为燃料单价，y_t^i 表示每年第t周期第i台设备的运行或停止状态，即 y_t^i=1 表示t周期第i台设备正在运行。否则 y_t^i=0 表示第t周期第i台设备处于停止状态。

（Ⅱ）设$g2_t(y)$为在第t周期内的启停费用

$$g2_t(y) := \sum_{i=1}^{m} b_i\left[y_t^i - y_{t-1}^i\right]^2,\ t\in I_T \tag{2}$$

令 $y_o^i = 0$，$i\in I_n$；b_i, $i\in I_m=\{1,2,\cdots,m\}$，表示第 i 台设备的启停费用。

（Ⅲ）设$g3_t(x)$为第t周期外购蒸汽与电的费用

$$g3_t(x) := c^{n+1}\cdot x_t^{n+1} + c^{n+2}\cdot x_t^{n+2},\ t\in I_T \tag{3}$$

c^{n+1} 与 c^{n+2} 分别为外购蒸汽与电的单价，x_t^{n+1} 与 x_t^{n+2} 为第 t 周期外购蒸汽与电的数量。

（Ⅳ）设 $g4(M)$为设备投资折旧费

$$g4(M) := R\cdot\sum_{i=1}^{n} M_i\cdot CC_i \tag{4}$$

R 为每年的投资回收系数为：

$$R := i_c\cdot(1+i_c)^{t_y}/\left[(1+i_c)^{t_y}-1\right] \tag{5}$$

CC_i为第i台设备单位容量的投资费用，M_i为第i台设备的额定负荷，i_c 表示年利率，t_y为折旧年限。

（Ⅴ）设 $g5(M)$为维修费用

$$g5(M) := \sum_{i=1}^{m} M_i\cdot CC_i\cdot r_i,\ t\in I_T \tag{6}$$

r_i 为第i台设备的年维修费率。

目标函数为系统在全周期内总费用：

$$\min f(x,y,M) = \sum_{t=1}^{T}[g1_t(x,y,M) + \sum_{t=1}^{T} g2_t(y) + \sum_{t=1}^{T} g3_t(x)] + g4(M) + g5(M) \tag{7}$$

由于公用工程系统运行必须满足对电力及各种蒸汽等的需要，因此设第 t 周期的电力需求为 $\overline{W_t}$，高压蒸汽

的需求量为$\overline{v_t^1}$，中压蒸汽的需求量为$\overline{v_t^2}$，低压蒸汽的需求量为$\overline{v_t^3}$。这里待确定的变量仅有$x \in R_t^{T\cdot(n+2)}, y \in \{0,1\}^{T\cdot n}$及$M \in R_t^n$，即优化变量为$x$，$y$，$M$。而$x$与$M$均有确定的取值范围，因此设$L^i$与$U^i$为第 i 台设备单位物流流量的下、上限及外购蒸汽与电的上限。即

$$x_t^i \in \left[L^i, U^i\right] \subset R_t^1, t \in I_T, i \in I_{n+2}$$
$$U^i = M_i, L^i = 0.7M_i, i \in I_n$$

$L^{n+1} = L^{n+2} = 0, U^{n+1}$与$U^{n+2}$依实际工程工况给出，而每台设备容量$M_i, i \in I_n$属于有限集，记为$Q^i, i \in I_n$。令

$$D_x := \mathop{\pi}_{i=1}^{n+2}\left[L^i, U^i\right] \subset R_t^{n+2}, D_y := \{0,1\}^n, D_m := \mathop{\pi}_{i=1}^{n} Q^i \tag{8}$$

期望公用工程系统全周期运行过程中在满足对电力与各种蒸汽需求，以及关于优化变量x，y，M的限制等条件下，使总的费用$f(x,y,M)$最小的混合整数双线性优化约束规划问题可表示为（记为 MIBLP）。

$$\text{MIBLP: } \min. f(x,y,M) \tag{9}$$

$$\text{s.t.} \sum_{i \in I_m \setminus I_{m1}} \left(\overline{h_t^i} - h_t^i\right) \cdot x_t^i \cdot y_t^i \cdot \eta / 3.6 + x_t^{n+2} \geqslant \overline{W_t} \tag{10}$$

$$\sum_{i \in I_{u_1}} x_t^i \cdot y_t^i - \sum_{i \in I_{m_1+u_1} \setminus I_{m_1}} x_t^i \cdot y_t^i - \sum_{i \in I_{m+w_1} \setminus I_m} x_t^i \cdot y_t^i + x_t^{n+1} \geqslant \overline{v_t^1}, t \in I_T \tag{11}$$

$$\sum_{i \in I_{m_1+u_1} \setminus I_{m_1}} x_t^i \cdot y_t^i + \sum_{i \in I_{m+w_1} \setminus I_m} x_t^i \cdot y_t^i - \sum_{i \in I_{m_1} \setminus I_{u_1}} x_t^i \cdot y_t^i - \sum_{i \in I_m \setminus I_{m_1+u_1}} x_t^i \cdot y_t^i - \sum_{i \in I_n \setminus I_{n-w_2}} x_t^i \cdot y_t^i \geqslant \overline{v_t^2}, t \in I_T \tag{12}$$

$$\sum_{i \in I_n \setminus I_{n-w_2}} x_t^i \cdot y_t^i + \sum_{i \in I_m \setminus I_{m_1+u_1}} x_t^i \cdot y_t^i \geqslant \overline{v_t^3}, t \in I_T \tag{13}$$

$$\mathrm{x}_t \in D_x, y_t \in D_y, M \in D_m, t \in I_T \tag{14}$$

在问题 MIBLP 中，式（9）为目标函数，包括设备投资与折旧费、运行费、维修费、启停费等；式（10）为电力需求约束，其中第一项为第t周期汽轮机的发电量；式（11）为高压蒸汽约束；式（12）为中压蒸汽约束；式（13）为低压蒸汽约束；式（14）为优化变量x，y，M的取值范围约束。显然式（10）到式（13）表达了从t=1，t=2，⋯，t=T各时间段公用工程运行过程中对电与蒸汽需求的离散动态约束。当离散变量$y_t \in D_y, t \in I_T$与$M \in D_m$给定后，连续变量$x_t \in D_x, t \in I_T$的可行域，记为

$$U(y,M) := \left\{x_t \in D_x, t \in I_T \middle| (x_t, y_t, M) \in D_x \times D_y \times D_m, t \in I_T, \text{满足式（10）到式（13）}\right\} \tag{15}$$

2　混合整数双线性优化问题的性质与分解算法

在问题 MIBLP 中，由于离散变量y_t与M的取值范围是有限的，所以可把问题 MIBLP 分解成有限多个仅含有连续优化变量的子优化问题，即对任意给定的$y_t \in D_y, t \in I_T$和$M \in D_m$，关于连续变量$x_t \in U(y,M), t \in I_T$优化子问题（记为$\text{MILP}(y,M)$）为

$$\text{MILP}(y,M): \min f(x,y,M)$$
$$\text{s.t. } x_t \in U(y,M), t \in I_T$$

从式（7），（9）到（14）可看出，当离散变量$y_t \in D_y, t \in I_T, M \in D_m$给定时，子优化问题$MILP(y,M)$是关于连续变量$x_t \in D_x, t \in I_T$的线性规划，它有$(n+2)\cdot T$个连续优化变量，除简单约束（14）外，有$4\times T$个线性不等式约束。因此，若子优化问题$MILP(y,M)$的可行域$U(y,M) \neq \varnothing$，则该子问题存在唯一的最优值，记为$f^*(x^*(y,M),y,M)$。其中，$x^*(y,M)$为子问题对应的最优解（一般线性规划问题的最优解不唯一）。

对$U(y,M) = \varnothing$的优化子问题作如下规定：若$U(y,M) = \varnothing$，则令优化子问题$MILP(y,M)$的最优值为$f^*(x^*(y,M),y,M) = \infty$（足够大的数），$x^*(y,M)$为任一值。在全周期优化问题$MIBLP$中，由于离散变量$y_t \in D_y, t \in I_T$与$M \in D_m$是有限的。所以$MIBLP$所包含子优化问题$MILP(y,M)$的个数（记为$N_p$）为

$$N_p := 2^{n\cdot T}\cdot \mathop{\pi}_{i=1}^{n}\left|Q^i\right| \tag{16}$$

其中$\left|Q^i\right|$表示集合Q^i中元素的个数。

由于$x^*(y,M)$与$f\,(x^*(y,M),y,M)$是子优化问题$MILP(y,M)$的最优解与最优值。令

$$\overline{f} := \min\left\{f^*(x^*(y,M),y,M)\mid y_t\in D_y, t\in I_T, M\in D_m\right\} \tag{17}$$

$$\overline{x}(\overline{y},\overline{M}) = \arg\min\left\{f\,(x^*(y,M),y,M)\middle| y_t\in D_y, t\in I_T, M\in D_m\right\} \tag{18}$$

由于几何D_y与D_m均为有限集，所以式（17）和（18）是有意义的。由问题MIBLP子优化问题$MILP\,(y,M)$的意义及（17）与（18）的计算，可得如下定理。

定理 1：双线性混合整数优化问题 MIBLP 可等价地分解为N_P个关于连续优化变量的线性优化子问题$\left\{\text{MILP}\,(y,M), y_t\in D_y, t\in I_T, M\in D_m\right\}$。

随着设备和周期的增多，系统可能的组合数将呈指数增长，给求解问题 MIBLP 带来极大困难（见式（16））。因此，必须研究混合整数双线性问题的基本性质，方可构造出可在计算机上实现的优化算法。

性质 1 若存在$y_t\in D_y$，$t\in I_T$与$M\in D_m$，使$U(y,M)\neq\varnothing$，则子优化问题$MILP\,(y,M)$的最优解存在。

性质 2 若$\forall y_t\in D_y$，$t\in I_T$，$M\in D_m$，均有$U(y,M)=\varnothing$，则混合整数双线性约束规划问题 MIBLP 的可行域为空集，最优解不存在，否则（即存在$y_t\in D_y$，$t\in I_T$，$M\in D_m$，使$U(y,M)\neq\varnothing$）存在有限最优解与最优值（由式（17）与式（18）给出）。

性质 3 若$y_t\in D_y$，$t\in I_T$与$M\in D_m$，使下述条件之一满足：

（Ⅰ）$\exists t\in I_T$使

$$U^{n+2}+\sum_{i=m_1+1}^{m}(\overline{h}_t^i-h_t^i)\cdot M_i\cdot y_t^i/3.6<\overline{w_t} \tag{19}$$

（Ⅱ）$\exists t\in I_T$使

$$U^{n+1}+\sum_{i=1}^{u_1}M_i\cdot y_t^i<\sum_{i=m_1+1}^{m_1+v_1}\varphi_i\cdot M_i\cdot y_t^i+\overline{v}_t^1 \tag{20}$$

其中$\varphi_i\in\{0,1\}$，$i\in I_n$为转换系数。

（Ⅲ）$\exists t\in I_T$使

$$\sum_{i=u_1+1}^{m_1}M_i\cdot y_t^i+\sum_{i=m_1+1}^{m_1+v_1}M_i\cdot y_t^i<\sum_{i=m_1+v_1+1}^{m_2}\varphi_i\cdot M_i\cdot y_t^i+\overline{v}_t^2 \tag{21}$$

（Ⅳ）$\exists t\in I_T$使

$$\sum_{i=m_1+v_1+1}^{m_2}M_i\cdot y_t^i<\overline{v}_t^3 \tag{22}$$

则$U(y,M)=\phi$（即线性规划$\text{MILP}_{t_y}(y,M)$无可行解）。

设离散变量y与M的可行集为

$$D_{ym} := \left\{(y,M)\mid y_t\in D_y, t\in I_T,\ M\in D_m\right\}=\prod_{k=1}^{T}D_y\times D_m \tag{23}$$

则D_{ym}中元素个数$\left|D_{ym}\right|=N_p$（见式（16））。又设

$$D_{n_{ym}} := \left\{(y,M)\in D_{ym}\mid (y,M)\text{使式(19),(20),(21)和式（22）之一成立}\right\} \tag{24}$$

依性质 3，若$(y,M)\in D_{n_{ym}}$，则$U(y,M)=\phi$，即问题$\text{MILP}_{t_y}(y,M)$的可行域为空集。

依据公用工程系统对电、蒸汽的需求量和设备的额定容量可得如下性质。

性质 4 若$M\in D_M$，且存在$t\in I_T$，使下列条件之一成立：

(I) $$U^{n+2}+\sum_{i=m_1+1}^{m}(\overline{h_t^i}-h_t^i)M_i/3.6<\overline{W_t} \tag{25}$$

(II) $$U^{n+1}+\sum_{i=1}^{u_1}M_i<\sum_{i=m_1+1}^{m_1+v_1}\varphi_i\cdot M_i+\overline{v_t^1} \tag{26}$$

(III) $$\sum_{i=u_1+1}^{m_1}M_i+\sum_{i=M_1+1}^{m_1+v_1}M_i<\sum_{i=m_1+v_1+1}^{m_2}\varphi_iM_i+\overline{v_t^2} \tag{27}$$

(IV) $$\sum_{i=m_1+v_1+1}^{m_2}M_i<\overline{v_t^3} \tag{28}$$

则 $\forall y_t\in D_y,t\in I_T$，均有$\cup(\mathrm{y},M)=\phi$

令 $D_{mo}:=\{M\in D_{\mathrm{m}}|$存在$\mathrm{t}\in \mathrm{I}_T$，使式（25）~（28）之一成立$\}$，这样，当$M\in D_{mo}$时，有$U(y,M)=\phi$。

求解混合整数双线性问题 MIBLP 关于离散变量的优化算法记为 OPTM, 其主要步骤如下：

（Ⅰ）令N_m=0（记录修改设备额定容量的次数）

f_{tyo}=大数（记录最优目标函数值）

$M_s=\phi$（记录选择过的设备M）

（Ⅱ）依均匀分布产生随机数$r\in[0,1]$，若$r\leqslant 0.5$，则$M_i=Q_i(1)$，否则$M_i=Q_i(2)$。$i\in I_n$。注：设备$M=[M_1,M_2,\cdots,M_{\mathrm{n}}]^T\in Q=\prod_{i=1}^{n}Q_i$，$Q_i=[Q_i[1],Q_i[2]]^T\in R_+^2$。

（Ⅲ）令$M_{\mathrm{s}}=M_{\mathrm{s}}\cup\{M\}$，依性质 4，若$M$不可行，或$M\in M_{\mathrm{s}}$，则转（Ⅱ），否则令$t$=1，$f_{ty}$=0，$N_m=N_m+1$。

（Ⅳ）令 $y_t^i=1$，$i\in I_n$，$M_*=\phi$，依据性质 4，若（y_*，M）不可行（即可行域为空集，设备选择不合理）则转（Ⅱ）。

（Ⅴ）令 $i_m:=\arg\max\{M_i|i\in I_n\setminus M_t\}$，$y_t^{im}=0$。依据性质 3，若（$y_t$，$M$）不可行，则令 $y_t^{im}=1$。

（Ⅵ）令 $M_t=M_t\cup\{i_m\}$，$j=j+1$。若$j\leqslant n$，则转（Ⅴ），否则求解第t周期上的线性规划，得连续变量最优解 x_t^i，$i\in I_{n+2}$ 及最优值$f_i(t)$。累计各周期最优值 $f_{ty}=f_{ty}+f_i(t)$，保留x_t，y_t。

（Ⅶ）t=t+1，若$t\leqslant T$，则转（Ⅳ），否则求的全周期最优值f_{ty}。

（Ⅷ）若 $f_{ty}<f_{ty0}$（对设备组合优化），则保留最优解 $x_t^*=x_t$，y_t^*=y_t，M^*=M 及最优值 $f_{ty0}=f_{ty}$。

（Ⅹ）若$N_m\leqslant 500$，则转（Ⅱ），否则输出最优结果：x^*，y^*，M^* 及f_{ty0}。运算结束。

3 实例研究

该例为某石化企业拟设计公用工程系统，该企业需要高、中、低、超低压四个等级蒸汽，低等级蒸汽允许通过由高压蒸汽减温减压得到。一年被划分为 12 个周期，各周期动力和蒸汽需求如表 1 所示，允许从外部购买动力和超高压蒸汽，但数量有一定的限制。超高压蒸汽价格 140 元/t，动力价格为 0.55 元/kWh，锅炉效率取 90%，汽轮机效率取 80%，燃料煤价格为 400 元/吨标煤。(锅炉与汽轮机选型如表 2 和 3 所示。) 锅炉价格 4100 万元/台，25MW 汽轮机机组 1000 万元/套，60MW 汽轮机机组 1200 万元/套。锅炉一次启停费用 25000 元，背压汽轮机一次启停费用 15 000 元，抽凝汽轮机一次启停费用 50 000 元。锅炉维护费率取 0.08，汽轮机维护费率取 0.06，年利率取 0.05。

经过优化设计，公用工程系统流程图如图 1 所示。公用工程系统的年总费用为 44 962.14 万元，其中设备投资和折旧费用 2214.9 万元，运行费用中启停费用仅为 18 万元，设备和容量选择合理，避免了设备的频繁启停，对于延长设备的使用寿命也是非常有利。

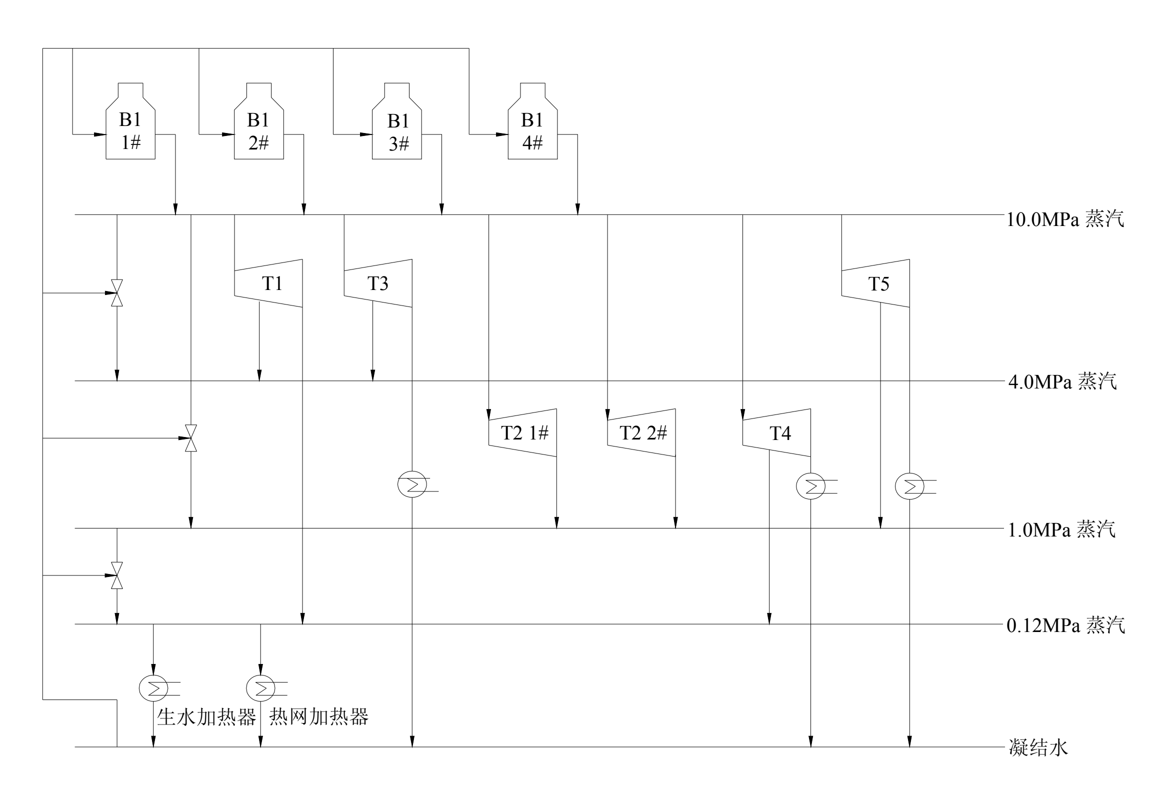


图 1　公用工程系统流程图

表 1　公用工程需求

周期	中压蒸汽 t/h	低压蒸汽 t/h	超低压蒸汽 t/h	动力 MW
1	386	430	270	200
2	380	400	248	204
3	358	283	180	191
4	364	180	128	185
5	347	120	106	178
6	360	105	103	182
7	346	105	100	184
8	346	105	100	184
9	368	142	120	190
10	368	283	180	191
11	383	342	218	195
12	386	430	270	200

表 2　锅炉设备选型

项目	压力 MPa	温度℃	额定负荷 t/h
锅炉 B1	10.0	540	410
锅炉 B2	4.0	410	75

表 3　汽轮机设备选型

项目	单位	T1	T2	T3	T4	T5
类型	-	抽背	背压	抽凝	抽凝	抽凝
进汽压力	MPa	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0
进汽流量	t/h	276	190	285	350	400
最大进汽量	t/h	323	210	317	370	410
抽汽压力	MPa	4.0	-	0.12	1.0	4.12/1.0
额定抽汽流量	t/h	188	-	180	160	75/120
最大抽汽量	t/h	220	-	200	370	180/200
排汽压力	MPa	0.12	1.0	0.0031	0.0031	0.0031
额定功率	MW	25	25	60	60	60

4　结论

本文对已有公用工程系统运行优化模型作了改进，提出多周期多种设备公用工程系统最优设计与运行优化模型，并针对提出的模型性质制定求解算法：

（Ⅰ）在目标函数中考虑了设备投资，以及设备的折旧。这样使优化模型更接近工程实际及通货膨胀。

（Ⅱ）由于优化模型 MIBLP 是关于离散变量(y,M)及连续变量$x_t \in D_x, t \in I_T$的双线性混合整数规划，属于 NP 难问题。因此，依离散变量仅有有限多个，将模型 MIBLP 分解为有限多个（N_p个）关于连续变量$x_t \in D_x, t \in I_T$的线性规划。通过求解N_p个线性规划问题$MILP(y,M)$，便可求得 MIBLP 的解。

（Ⅲ）由于N_p是个非常大的值，且有许多线性规划子问题$MILP(y,M)$的可行域$U(y,M)=\phi$。为减小计算量，研究了 MIBLP 问题的性质，给出了使$U(y,M)=\phi$的充分条件（见性质 3），为构造求解 *MIBLP* 的优化算法打下理论基础。

（Ⅳ）依据双线性混合整数规划模型和线性规划子问题模型的性质构造了优化算法 OPTM，并将模型与算法应用于实际公用工程系统的最优设计与优化运行问题，证实了该方法的实用性和有效性。

表 4　优化运行结果

周期	B1 产汽	B2 产汽	B3 产汽	B4 产汽	S_{T1}进汽	S_{T1}抽汽	S^2_{T2} 进汽	S^2_{T2} 排汽	S^2_{T2} 进汽	S^2_{T2} 排汽	S_{T3}进汽
1	410	410	410	361	276	206	190	165	160	135	285
2	410	410	410	361	276	200	190	165	160	135	285
3	410	374	328	328	250	170	190	165	0	0	220
4	410	410	360	0	260	184	140	115	0	0	170
5	410	410	336	0	276	220	130	105	0	0	180
6	410	388	328	0	276	220	130	105	0	0	170
7	410	388	328	0	276	220	130	105	0	0	170
8	410	388	328	0	276	220	130	105	0	0	170
9	410	410	356	0	276	220	130	105	0	0	190
10	386	328	328	328	260	178	190	165	0	0	220
11	410	405	328	328	276	203	190	165	160	135	265
12	410	410	410	361	276	206	190	165	160	135	285

（续表）

周期	S_{T3}抽汽	S_{T4}进汽	S_{T4}抽汽	S_{T5}进汽	S_{T5}抽汽	DT1	DT2	DT3	发电量 MW	外购蒸汽 t/h	外购动力 MW
1	180	250	130	400	200	0	0	0	198	0	2.0
2	180	250	100	400	172	0	0	0	203	0	1.0
3	100	300	118	400	180	0	0	0	190	0	1.0
4	52	210	68	400	180	0	0	0	183	0	2.0
5	60	170	15	400	127	0	0	0	178	0	0
6	47	150	0	400	140	0	0	0	181	0	1.0
7	44	150	0	400	126	0	0	0	181	0	3.0
8	44	150	0	400	126	0	0	0	181	0	3.0
9	64	180	37	400	128	0	0	0	189	0	1.0
10	100	250	118	400	180	0	0	0	188	0	3.0
11	145	180	42	400	200	0	0	0	191	0	4.0
12	180	250	130	400	200	0	0	0	198	0	2.0

参考文献

[1] Nishio M，Itoh J，Shiroko K，et al. A thermodynamic approach to steam-power system design[J]. Industrial & Engineering Chemistry，Process Design and Development. 1980，19（2）：306-312

[2] Nishio M, Shiroko K, Umeda T. Optimal use of steam and power in chemical plants[J]. 1982,21(4):640-646.

[3] Yoo Y H, H.S.Yi, Y.K.Yeo. Modeling and Simulation of Energy Distribution Systems in a Petrochemical Plant[J]. Korean J.Chem.Eng. 1996, 13(4):384-392

[4] Yi H S, Yeong Koo, Kim J K, et al. A rule-based steam distribution sysrem for petrochemical plant operation[J]. Ind. Eng. Chem.Res. 1998, 37:1051-1062

[5] Lee M H, Lee S J, Han C, et al. Hierachical on-line data reconciliation and optimization for an industrial utility plant[J]. Computers and Chemical Engineering. 1998, 22(Suppl):247-254

[6] Papalexandri K P, Pistikopoulos E N, Kalitventzeff B. Modelling and optimization aspects in energy management and plant operation with variable energy demands-application to industrial problems[J]. Computers & Chemical Engineering. 1998, 22(9):1319-1333

[7] Mavromatis S P, Kokossis A C. Hardware composites: A new conceptual tool for the analysis and optimization of steam turbine networks in chemical process industries. Part I: Principles and construction procedure[J]. Chemical Engineering Science. 1998, 53(7): 1405-1434

[8] Mavromatis S P, Kokossis A C. Hardware composites: A new conceptual tool for the analysis and optimization of steam turbine networks in chemical process industries. Part II: Application to operation and design[J]. Chemical Engineering Science. 1998, 53(7): 1435-1461

[9] Strouvalis A M, Mavromatis S P, Kokossis A C. Conceptual optimisation of utility networks using hardware and comprehensive hardware composites[J]. Computers & Chemical Engineering. 1998, 22(22): 175-182

[10] Yi H S, han C, Yeo Y K. Optimal multiperiod planning of utility systems considering discrete/continuous variance in internal energy demand based on decomposition method[J].Journal of Chemical Engineering of Japan. 2000, 33(3): 456-467

[11] Ueo Y K, Roh H D, Kim I W, et al. Optimal operation of utility system in petrochemical plants[J].Korean J. chem. 2003, 20(2): 200-206

[12] Shang Z, Kokossis A. A transhipment model for the optimization of steam levels of total site utility system for multiperiod operation[J]. Computers & Chemical Engineering. 2004, 28(9): 1673-1688

[13] Cheung K Y, Hui C W. Total-site scheduling for better energy utilization[J]. Journal of Cleaner Production. 2004, 12(2): 171-184

[14] Cheung K Y, Hui C W, Sakamoto H, et al. Short-term site-wide maintenance scheduling[J]. Computers and Chemical Engineering. 2004, 28(1-2): 91-102

[15] 夏燕萍，吕泽华，赵士杭. 热电厂锅炉—汽轮机的优化调度[J]. 清华大学学报，2000，40（11）：59-62

[16] 张国喜，华贲，刘金平. 石油企业蒸汽机动力系统的多工况操作优化[J]. 石油炼制与化工. 2001，32（5）：42-46

[17] IycrR R, Grossmann I E. Optimal multi-period operational planning for utility systems computer & chemical engineering[J]. 1997. 21(8): 787-888

[18] 郭雨珍，冯恩民，刘鹤贤，尹洪超. 多周期公用工程系统运行的模型优化方法及应用. 运筹与管理[J]. 2005，14（3）：37-41

Optimization algorithm and application of mixed integer bilinear programming for multi-period and multi-equipment utility system

Feng tie-jun[1], Huo zhao-yi[2], Yin hong-chao[2]

(1. Dalian economic and technological development zone heating power company，Dalian 116600，China; 2. School of Energy and Power Engineering, Dalian University of Technology，Dalian 116024，China)

Abstract: A mixed integer bilinear programming model of multi-period and multi-equipment utility system is proposed in this paper, which includes two types of optimization variables and distract dynamic constraints for systems operation and aims to obtain minimum cost consisting of capital investment and total period running cost. To simplify solution procedure of the optimization model, the presented model is decomposed into many continuous variable linear program models. The equivalence analysis and major mathematical properties between the optimization model and decomposed models are described in detail, which are theoretical basis for constructing effective optimization algorithm. Finally, the proposed method is usedto design a utility system for a chemical industrial plant.

Keywords: multi-period and multi-equipment utility system; mixed integer bilinear programming; distract dynamic constraints

有尺寸的单机分批排序问题的近似算法

吴翠连
（曲阜师范大学管理学院　山东 日照　276826）

摘　要：本文主要讨论了特定情形下单机分批排序问题 $1\left|B,r_j,s_j\right|C_{\max}$ 的近似算法。对于大工件（工件的尺寸严格大于机器容量的 $\frac{1}{2}$ ）的加工时间不小于小工件（工件的尺寸小于或等于机器容量的 $\frac{1}{2}$ ）的加工时间的特定情形，利用动态规划的方法和拆分的技巧，我们提出了最差性能比为 $\frac{3}{2}+\varepsilon$ 的多项式时间近似算法，此处，ε 是任意小的正数。除非，$P=NP$，在此情形下，不存在最差性能比小于 $\frac{3}{2}+\varepsilon$ 的近似算法。

关键词：分批排序；最大完工时间；最差性能比；近似算法

0　引言

分批排序问题是在半导体生产过程的最后阶段提炼出来的一类重要的排序问题。这方面的研究工作于 20 世纪 90 年代很快地发展并活跃起来，最富有代表性的应是文献[1][4]等。一般情况下，我们要求尺寸大的工件的加工时间不小于尺寸小的工件的加工时间是合理的[5]。本文考虑这种情形下的分批排序问题是有意义的。我们定义：当工件尺寸大于机器容量的 $\frac{1}{2}$ 时为大工件，否则为小工件。若每一个大工件的加工时间不小于任何一个小工件的加工时间，我们称此类工件为工时与尺寸成比例。我们考虑的是工件的工时与尺寸成比例的条件下目标函数为极小化最大完工时间的单机分批排序问题。用三参数表示法记作 $1\left|B,r_j,s_j\right|C_{\max}$。

问题可描述为：设有 n 个工件 $J_j\left(j=1,2,\cdots,n\right)$ 要在一台机器上加工，其到达时间、加工时间和尺寸分别为 r_j,p_j,s_j。其中，s_j 是整数且 $0<s_j\leqslant B$，B 是机器的容量，规定 B 是个与问题规模无关的常数。这些工件可以分成若干个批 $\left(B_1,B_2,\cdots,B_r\right)$。批加工机器可以把多个工件作为一批同时加工，只要这些工件的尺寸之和不超过机器的容量 B。对于批 B_i：到达时间记作 $r\left(B_i\right)$，等于批中工件到达时间的最大值；加工时间记作 $p\left(B_i\right)$，等于这批中所含工件的最大加工时间；同一批中的工件有相同的完工时间。工件一旦放在机器上开始加工，就不可中断，也不允许移走正在加工的工件。如果一批中所含工件的尺寸之和为 B，则称此批为满批；否则称为非满批。由上文规定若一个工件的尺寸大于 $\frac{B}{2}$，则称此工件为大工件；否则称为小工件。对于工时与尺寸成比例的工件集，如何对工件进行分批，如何安排各批的次序，使得所有工件的完工时间最小，就是我们要解决的问题。

对于 $1\left|B,s_j\right|C_{\max}$，如果所有工件的加工时间都相等，则此问题等价于装箱问题[2]，因此这个问题是强 NP －难的，它没有最差性能比小于 $\frac{3}{2}$ 的近似算法[4]；当工件的加工时间未必相同时，张国川、蔡小强等在工件的工时和尺寸成比例的情况下提出了最差性能比为 $\frac{3}{2}$ 的近似算法[5]。从最差性能比来说，这是这种情况下最好的算法。对于 $1\left|B,r_j\right|C_{\max}$，邓小铁、张玉忠等给出了 $PTAS$ 算法[3]。受这两篇文章[3][5]的启发，我们设计出了本文

作者简介：吴翠连（1977-），女，山东济宁人，讲师，硕士，主要研究方向：运筹学

的算法。李曙光、李国军等人首次考虑了工件同时具有工时、尺寸和到达时间的情形$1\left|B,r_j,s_j\right|C_{\max}$，并给出了最差性能比为$2+\varepsilon$的近似算法，$\varepsilon$是任意小的正数[6]。

本文主要考虑了分批排序问题$1\left|B,r_j,s_j\right|C_{\max}$，和曙光、李国军等人在[6]中不同的是我们严格限制机器的容量B是常数且工件的工时与尺寸成比例，给出最差性能比为$\frac{3}{2}+\varepsilon$的多项式时间近似算法，此处，ε是任意小的正数。并指出在此情形下，不存在最差性能比小于$\frac{3}{2}+\varepsilon$的近似算法。

1　符号和预备知识

我们定义工件集$L=\{J_1,J_2,\cdots,J_n\}$, 令$r_{\max}$为所有工件到达时间中的最大者，即：$r_{\max}=\max\left\{r_j\left|J_j\in L\right.\right\}$。假设工件被分为$k$批：$B_1,B_2,\cdots,B_k$；批$B_i\left(i=1,2,\cdots,k\right)$的开工时间为$t_i$。我们要找的可行排序可表示为$\left(B_1,t_1\right),\left(B_2,t_2\right),\cdots,\left(B_k,t_k\right)$，其中对于所有的$i=1,2,\cdots,k,\sum_{J_j\in B_i}s_j\leqslant B$且对所有的$j$满足条件$J_j\in B_i:r_j\leqslant t_i,t_i+\pi_i\leqslant t_{i+1}$此处$\pi_i=\max\left\{p_j\left|J_j\in B_i\right.\right\}$。则这个可行排序的最大完工时间为$t_k+\pi_k$。显然，最小的最大完工时间$C^*_{\max}$至少是$r_{\max}$或者$P_{sum}\frac{S_{\min}}{B}$，其中$P_{sun}=\sum_{J_j\in L}p_j,S_{sum}=\min\left\{s_j\left|J_j\in L\right.\right\}$。

在算法的设计中，要对实例作若干修正，以便实例具有更好的结构性质。若每次修正后，实例的目标函数值不超过原来的$1+o(\varepsilon)$倍，我们称修正费用不超过$1+o(\varepsilon)$。显然，在费用不超过$1+o(\varepsilon)$的情况下，可以进行常数次的上述修正。

下面是小工件可拆分的工件的工时与尺寸成比例的分批排序问题的一个多项式时间精确算法A_1。这个算法时间复杂性为$o(n\log n)$ [5]。

算法A_1：

步骤 1.把所有工件按工时非增的顺序重新编号，不妨设共有k个大工件：$J_1,J_2,\cdots,J_k$。

步骤 2.把大工件J_i放入第i批，$i=1,\cdots,k$。

步骤 3.对小工件$J_i,i=k+1,\cdots,n$放入标号最小的非满批，必要时可以按尺寸拆分，直到当前批满，并把拆分后的工件放入下一个标号最小的非满批中，若无非满批则开辟新批。

2　算法

下面的引理将原实例为I的输入数据修正，使得修正后的实例具有较好的性质和结构，方便我们设计算法。

令原实例I最优目标函数值记为$opt(I)$。

引理 1：在修正费用不超过$1+o(\varepsilon)$的情况下，可以将原实例修正为到达时间的不同个数不超过$\left\lfloor\frac{1}{\varepsilon}\right\rfloor+1$个。

证明：令$K=\varepsilon\cdot r_{\max}$，$\overline{r_j}=K\left\lfloor\frac{r_j}{K}\right\rfloor$，易知$\overline{r_j}$的不同个数不超过$\left\lfloor\frac{1}{\varepsilon}\right\rfloor+1$个。令修正后的实例为$\overline{I}$，最优目标函数值记为$opt\left(\overline{I}\right)$，易知$opt\left(\overline{I}\right)\leqslant opt(I)$。设修正后的实例$\overline{I}$的最优的分批及批加工次序为：

$\left(\overline{B_1},\overline{t_1}\right),\left(\overline{B_2},\overline{t_2}\right),\cdots,\left(\overline{B_s}\overline{t_s}\right)$，其中$\overline{B_i}(1\leqslant i\leqslant s)$是第$i$批被加工的工件，$\overline{t_i}$是其开工时间。还原成原实例的数据后，得到原来实例的可行排序，对应的目标函数值记为$\overline{A}(I)$，则有

$$\overline{A}(I)\leqslant\overline{t_s}+K+p\left(\overline{B_s}\right)\leqslant opt\left(\overline{I}\right)+K\leqslant(1+\varepsilon)\cdot opt(I)$$

引理 2：在修正费用不超过$1+o(\varepsilon)$的情况下，可以将原实例修正为到达时间和加工时间都是整数。

证明：令 $M_0=\{r_{\max},P_{\max}\},M=\varepsilon\cdot\frac{M_0}{2n}$，$\overline{\overline{r_j}}=\left\lfloor\frac{r_j}{M}\right\rfloor,\overline{\overline{p_j}}=\left\lfloor\frac{p_j}{M}\right\rfloor$，其中 $P_{\max}$ 为所有工时中的最大值。令修正后的实例为 $\overline{\overline{I}}$，设它最优的分批及批加工次序为：$\left(\overline{\overline{B_1}},\overline{\overline{t_1}}\right),\cdots,\left(\overline{\overline{B_l}},\overline{\overline{t_l}}\right)$，其中 $\overline{\overline{B_i}}(1\leqslant i\leqslant l)$ 是第 i 批被加工的工件，$\overline{\overline{t_i}}$ 是其开工时间。还原工件的输入数据得原实例为 I 的一个可行排序，记这个可行排序对应的目标函数值为 $\overline{\overline{A}}(I)$，则有

$$\overline{\overline{A}}(I)\leqslant M\overline{\overline{t_l}}+nM+Mp\left(\overline{\overline{B_l}}\right)+nM\leqslant opt(I)+2nM\leqslant opt(I)+\varepsilon M_0\leqslant(1+\varepsilon)opt(I)$$

下面，假设工件的到达时间、加工时间为整数以及不同到达时间的个数 m 为常数时，对于小工件可拆分且工件的工时与尺寸成比例的 $1|B,r_j,s_j|C_{\max}$ 给出伪多项式时间的最优算法 $A_{伪}$。我们规定工件拆分后，每一部分的加工时间不变。

首先，将所有的工件按照工时非增的顺序重新编号：$p_1\leqslant p_2\leqslant\cdots\leqslant p_n$。令 m 个不同的到达时间为：$r_1^{'}<r_2^{'}<\cdots<r_m^{'}$。不妨设 $r_1^{'}=0,r_{m+1}^{'}=+\infty$。记工件集 L 按排序 S 的一个划分为 $L_1(S),\cdots,L_m(S)$，其中 $L_i(S)$ 表示开工时间落在区间 $\left[r_i^{'},r_{i+1}^{'}\right)$ 内的工件的集合，一旦工件集 L 能最优的确定这样的划分，子工件集 L_i 都按算法 A_1 来安排工件（包含分批以及确定批次序）。由算法 A_1 的最优性可知这个排序是最优的。若用枚举法来找最优划分，最多要考察 m^n 种可能。为了减低算法的时间复杂性，我们用动态规划的方法来找工件集的最优划分。

下面定义动态规划的迭代过程中用到的几个状态参量。对 $1\leqslant i\leqslant m$，若 $L_i(S)$ 不是空集，那么它的开工时间（$L_i(S)$ 中第一批被加工工件的开工时间）要么是 $r_i^{'}$ 要么是 $L_{i-1}(S)$ 的完工时间（$L_{i-1}(S)$ 中最后一批工件完工的时间）。如果是后者，我们定义 L_i 的延误时间为它的开工时间减去 $r_i^{'}$ 的差，记作 $b_i(S)$。显然 $0\leqslant b_i(S)\leqslant P_{\max}$。我们定义加工完 $L_i(S)$ 中所有工件所需的时间为 $L_i(S)$ 的加工时间，记作 $c_i(S)$。显然 $0\leqslant c_i(S)\leqslant P_{sum}$。我们定义 $L_i(S)$ 中所有非满批闲置空间之和为 $L_i(S)$ 的尺寸，记为 $n_i(S)$。显然 $0\leqslant n_i(S)\leqslant nB$。如果 $L_i(S)$ 是空集，则令 $b_i(S)=c_i(S)=n_i(S)=0$。最后我们记在某排序 S 下工件集 $\{J_1,J_2,\cdots,J_j\}$ 的完工时间为 $r_m^{'}+b_m(S)+c_m(S)$，其中当 $1\leqslant i\leqslant m$ 时，L_i 的延误时间为 b_i，加工时间为 c_i，尺寸为 n_i。对于各种可能的 $\vec{B}=(b_1,\cdots,b_m)$，$\vec{C}=(c_1,\cdots c_m)$，$\vec{N}=(n_1,\cdots,n_m)$ 我们用 $f\left(j,\vec{B},\vec{C},\vec{N}\right)$ 作为工件集 $\{J_1,J_2,\cdots,J_j\}$ 最小的最大完工时间。显然 $b_1(S)=0$。

首先考虑 $f\left(1,\vec{B},\vec{C},\vec{N}\right)$。假设工件 J_1 的到达时间为 $r_i^{'}$，设它的开工时间落在 $\left[r_k^{'},r_{k+1}^{'}\right)$，则有 $i\leqslant k\leqslant m$。由于 L_k 只含一个工件，其他的 L_i 都是空集，所以 $b_i=0,\ 1\leqslant i\leqslant k$；再按定义计算 $b_i,k+1\leqslant i\leqslant m$：若 $r_k^{'}+p_1\leqslant r_i^{'}$，则 $b_i=0$，否则 $b_i=r_k^{'}+p_1-r_i^{'}$。显然 L_k 的完工时间为 $r_k^{'}+p_1$。因此，当 $i\leqslant k\leqslant m$，若令 $\overrightarrow{B_k}=(0,\cdots,0,\quad b_{k+1},\cdots,b_m)$，$\overrightarrow{C_k}=(0,\cdots,0,p_1,\quad 0,\cdots,0)$，$\overrightarrow{N_k}=(0,\cdots,0,B-s_1,\quad 0,\cdots,0)$，其中 $p_1,B-1$ 分别是对应向量的第 k 个分量。则有

$$f\left(1,\overrightarrow{B_k},\overrightarrow{C_k},\overrightarrow{N_k}\right)=\max\left\{r_k^{'}+p_1,r_m^{'}\right\}$$

我们令 Q_1 为插入 J_1 得到的所有可行的状态集合，如 $Q_1=\left\{q_1^1,q_2^1,\cdots\right\}$。并记 $|Q_1|$ 为 Q_1 中元素的个数，显然 $|Q_1|\leqslant m$ 和 $|Q_1|\leqslant(P_{\max}P_{sun}nB)^m$。显然 $m<n$，所以 $m\leqslant(P_{\max}P_{sun}nB)^m$。

现在假定对 Q_j 中任意状态 $f\left(j,\vec{B},\vec{C},\vec{N}\right)$ 都已计算出来了。由于 $0\leqslant b_i(S)\leqslant P_{\max}$，$0\leqslant c_i(S)\leqslant P_{sum}$，$0\leqslant n_i(S)\leqslant nB$，所以 $|Q_j|\leqslant(P_{\max}P_{sun}nB)^m$，$j\geqslant 1$。下面对 $\forall q_i^j\in Q_j$，我们来考察 $f\left(j+1,\vec{B},\vec{C},\vec{N}\right)$ 和 Q_{j+1}。不妨设 $r_{j+1}=r_i^{'},\ 1\leqslant i\leqslant m$ 且 J_{j+1} 在状态 q_i^j 下插入 L_k，$i\leqslant k\leqslant m$。用算法 A_1 来安排 J_{j+1}。已知 J_{j+1} 是 L_k 中工时最小的工件。

讨论：

1．若 $s_j>\frac{B}{2}$，我们应为 J_{j+1} 开新批。因此插入 J_{j+1} 使得 L_k 加工时间增加了 p_{j+1}，尺寸增加了 $B-s_{j+1}$。对

于$1\leqslant i\leqslant k$, b_i不变；对于$k+1\leqslant i\leqslant m$，若$r_k^{'}+b_k+c_k+p_{j+1}\leqslant r_i^{'}+b_i$，则$b_i$不变，否则$r_k^{'}+b_k+c_k+p_{j+1}-r_i^{'}-b_i$。

2．若$s_j\leqslant\dfrac{B}{2}$，则

（2.1）若$n_k\geqslant s_{j+1}$，则把J_{j+1}放入L_k中编号最小非满批中，必要时可以拆分，先把当前非满批塞满，再把余下的部分放入下一个标号最小的非满批中，继续这样操作，直到J_{j+1}安排完。因为$n_k\geqslant s_{j+1}$且J_{j+1}在L_k中工时最小，所以插入J_{j+1}不改变L_k的加工时间和延误时间，但L_k的尺寸减少s_{j+1}。

（2.2）若$n_k<s_{j+1}$：则把J_{j+1}放入L_k中编号最小非满批中，必要时可以拆分，先把当前非满批塞满，再把余下的部分放入下一个标号最小的非满批中，继续这样操作，直到没有非满批。由于$n_k<s_{j+1}$，所以J_{j+1}此时还由剩余，对余下的部分开新批。从而插入J_{j+1}使得L_k的加工时间增加p_{j+1}，尺寸变作$B-\left(s_{j+1}-n_k\right)$，延误时间仿照（2.1）的确定。

易知对$1\leqslant i\leqslant n$，有$\left|Q_i\right|\leqslant\left(P_{\max}P_{sun}nB\right)^m$。当我们对$Q_n$中的每个可行状态都计算出$f\left(n,\vec{B},\vec{C},\vec{N}\right)$的值，其中最小的$f\left(n,\vec{B},\vec{C},\vec{N}\right)$的值就是问题的最优目标函数值。定义函数$f:f\left(q_i^j\right)=q_{i'}^{j-1}$，如果状态$q_i^j$是在状态$q_{i'}^{j-1}$下插入$J_j$得出的。因为我们记录了$Q_j,j=1,\cdots,n$，所以利用函数$f$很容易找出最优排序。

至此可以给出算法$A_{伪}$的时间复杂性$O\left(n\left(nBP_{\max}P_{sum}\right)^m\right)$，当到达时间的不同个数$m$是常数时，这是个伪多项式时间算法。

对算法$A_{伪}$输出的排序为π且对应的划分为$L_1,\cdots,L_m$。假定L_i在排序π中被分成了t_i批$B_1^i,\cdots,B_{t_i}^i$且设$p\left(B_j^i\right)=l_j^i,j=1,\cdots,t_i$。记$L_i$中被拆分的小工件共有$q_i$个。由算法$A_{伪}$可知$q_i\leqslant t_i-1$。对$k=1,\cdots,q_i$和$i=1,\cdots,m$，记$\left(J_{p_k}^{'}\right)^i$为$L_i$中被拆分的第一部分放在批$B_{p_k}^i\left(1\leqslant p_1\leqslant\cdots\leqslant p_{q_i}\leqslant t_i-1\right)$里的工件。从而$A_{伪}$输出的排序为$\pi$共有$\sum\limits_{i=1}^m t_i$批，被拆分的工件个数为$\sum\limits_{i=1}^m q_i$，得下面的引理：

引理 3：对于$i=1,\cdots,m$，L_i中被拆分的都是小工件，被拆分的小工件$\left(J_{p_k}^{'}\right)^i$的工时$(p_{p_k}^{'})^i$一定不大于$l_{p_k+1}^i,k=1,\cdots,q_i$。

算法A_2：

步骤 1. 对于工件到达时间的不同个数m为常数且工件工时与尺寸成比例的问题$1\left|B,r_j,s_j\right|C_{\max}$，假定小工件可以拆分，用算法$A_{伪}$，输出的排序$\pi$和对应的划分为$L_1,\cdots,L_m$。

步骤 2. 把L_i中被拆分的工件从π中移走，$i=1,\cdots,m$。对于$k=1,2,\cdots,\left\lceil\dfrac{q_i}{2}\right\rceil$，$i=1,\cdots,m$，我们把移走的工件$\left(J_{p_{2k}-1}^{'}\right)^i$和$\left(J_{p_{2k}}^{'}\right)^i$放入一批中，其批加工时间为$\left(J_{p_{2k}-1}^{'}\right)^i$的工时。

步骤 3. π的基础上得到的工件不被拆分的可行排序记作π_1，共有$\sum\limits_{i=1}^m t_i+\sum\limits_{i=1}^m\left\lceil\dfrac{q_i}{2}\right\rceil$批。规定在$\pi_1$中以任意次序最后加工由被拆分小工件生成的批。

定理 1：对于工件到达时间的不同个数m为常数且工件工时与尺寸成比例的问题$1\left|B,r_j,s_j\right|C_{\max}$，算法$A_2$是伪多项式时间的$\dfrac{3}{2}$近似算法。

证明：π_1是它的一个可行排序，记它对应的目标函数值为$c\left(\pi_1\right)$。令问题最优排序对应的目标函数值为C，则

$$\frac{c\left(\pi_1\right)}{C}\leqslant\frac{r_m+b_m+c_m+\sum\limits_{i=1}^m c_i/2}{r_m+b_m+c_m}\leqslant1+\frac{1}{2}\frac{\sum_{i=1}^m c_i}{r_m+b_m+c_m}\leqslant\frac{3}{2}$$

说明：由 L_i 中被拆分小工件生成的批的加工时间之和的上限是 $\frac{c_i}{2}$， $i=1,\cdots,m$ 。

算法 A_2 的时间复杂性为 $O\left(n\left(nBP_{\max}P_{sum}\right)^m+n\log n\right)$，在 m 为常数时，是伪多项式时间算法。

下面给出工件工时与尺寸成比例的问题 $1\left|B,r_j,s_j\right|C_{\max}$ 多项式时间近似算法。

算法 A_3：

步骤 1. 令 $K=\frac{\varepsilon}{3}\cdot r_{\max}$， $\overline{r_j}=K\left\lfloor\frac{r_j}{K}\right\rfloor$

步骤 2. $M_0=\left\{\overline{r_{\max}},P_{\max}\right\},M=\frac{\varepsilon}{3}\cdot\frac{M_0}{2n}$， $\overline{\overline{r_j}}=\left\lfloor\frac{\overline{r_j}}{M}\right\rfloor,\overline{\overline{p_j}}=\left\lfloor\frac{p_j}{M}\right\rfloor$

步骤 3. 对修正后的实例应用算法 A_2 输出排序 S_1 。

步骤 4. 把 S_1 中工件的输入数据还原为原始数据，得到原问题的可行排序记作 S 。

定理 2：工件工时与尺寸成比例的问题 $1\left|B,r_j,s_j\right|C_{\max}$ ，算法 A_3 是多项式时间的 $\frac{3}{2}+\varepsilon$ 近似算法。

证明：通过步骤 1 修正后，工件不同到达时间的个数 $m\leqslant\left\lfloor\frac{1}{\varepsilon}\right\rfloor+1$ 。通过步骤 2 修正后，工件的工时和到达时间都是整数。记算法 A_3 生成的排序 S 对应的目标函数值为 $C(S)$，所考察问题的最优目标函数值记作 C^* 。则

$$C(S)\leqslant\frac{3}{2}[(M\overline{\overline{r_m}}+Mb_m+M\overline{\overline{c_m}})+2nM+K],$$

$$C^*\geqslant\max\left\{M_0,r_{\max},M\overline{\overline{r_m}}+Mb_m+M\overline{\overline{c_m}}\right\}$$

所以 $\frac{C(S)}{C^*}\leqslant\frac{3}{2}+\frac{\varepsilon M_0}{2C^*}+\frac{\varepsilon r_{\max}}{2C^*}\leqslant\frac{3}{2}+\varepsilon$ 。

算法的时间复杂性为 $O\left(3n+n^{2m}B^m\left(\frac{6n}{\varepsilon}\right)^{2m}+n\log n\right)$，因为 $P_{\max}\leqslant\frac{6n}{\varepsilon},\ P_{sum}\leqslant nP_{\max}$ 。

对于 $1\left|B,s_j\right|C_{\max}$,当工件的加工时间未必相同时,在工件的工时和尺寸成比例的情况下有最差性能比为 $\frac{3}{2}$ 的近似算法。从最差性能比来说，这是这种情况下最好的算法。由于 ε 是任意小的正数，

问题在工件的工时与尺寸成比例时，不存在最差性能比小于 $\frac{3}{2}+\varepsilon$ 的近似算法。

3 结论

本文针对分批排序问题 $1\left|B,r_j,s_j\right|C_{\max}$ 在工件的工时和尺寸成比例的情况下，设计了最差性能比小于 $\frac{3}{2}+\varepsilon$ 的近似算法，并指出不存在最差性能比小于 $\frac{3}{2}+\varepsilon$ 的近似算法。根据目前的最新结果，分批排序问题 $1\left|B,r_j\right|C_{\max}$ 的 *PTAS* 算法的时间复杂性比本文引用的已经大大降低，我们猜测在时间复杂性较小的 *PTAS* 算法的基础上也能得到类似结论。

参考文献

[1] J. J. Bartholdi. Unpublished, 1988

[2] E. G. Coffman, M. R. Garey, D. S. Johnson. Approximation algorithms for NP_hard problems[M]. PWS, Boston, 1996. 46-93

[3] X. Deng, C. K. Poon and Y. Zhang, Approximation algorithms in batch processing[J]. Journal of

Combinational Optimization, 2003, 7: 247-257
[4] C. Y. Lee, R. Uzsoy, L. A. Martin-Vega, Efficient algorithms for scheduling semiconductor burn-in operations[J]. Operations Research, 1992, 40: 764-775
[5] Guochuan Zhang, Xiaoqiang Cai, C. K. Wong. Minimizing makespan on a single batch processing machine with non-identical job sizes[J]. Naval Research Logistics, 2001, 48: 226-247
[6] Suguang Li, Guojun Li, Xiaoli Wang, Qingming Liu. Minimizing makespan on a single batching machine with release times and non-identical job sizes[J]. Operations Research Letters, 2005, 33: 157-164

Schenuling Jobs with Non-identical Sizes on a Single Batching Machine

Wu Cuilian
(College of Management, Qufu Normal Univirsity，Rizhao 276826，China)

Abstract: We study the problem $1|B, r_j, s_j|C_{\max}$ for the version where the processing times of large jobs (with sizes greater than half the capacity of machine) are not less than those of small jobs(with sizes not greater than half the capacity of machine). An algorithm with worst-case ratio $\frac{3}{2}+\varepsilon$ is proposed,where $\varepsilon > 0$,can be made arbitrarily small.

Keywords: batch processing; minimizing makespan; worst-case ratio; algorithm

成都地铁 1 号线对城市通勤者出行方式影响研究

孔　萍　李淑朋　李　军
（西南交通大学经济管理学院　四川 成都　610031）

摘　要：本文建立了基于 Nested Logit 模型的通勤者出行方式分担模型，通过问卷调查，分析了成都地铁 1 号线开通后通勤者出行方式分担率，并对地铁票价、地铁站到公司步行时间等因素进行敏感性分析，系统考查各因素对通勤者出行方式选择的影响，为城市交通建设提供更加有力的理论和实践依据。

关键词：通勤者；地铁 1 号线；Nested Logit 模型；出行方式分担

0　引言

中国城市化水平日益提高，大量的人口向城市聚集，加之近年城市机动车数量大幅增加（截至 2009 年底，成都市机动车辆总量达到 239.83 万辆[[1]]），交通供需不平衡已成为制约城市发展的突出问题。2010 年 9 月 27 日，成都地铁 1 号线正式进入试运营阶段，这对城市最主要的客流贡献者通勤人员的影响最大，因此考查地铁开通后对通勤者出行方式选择的影响具有重要的现实及长远意义。

许多学者从不同角度研究城市交通问题。Chowdhury调查了较大城市中心的换乘问题，对各种交通方式的时刻表进行同步优化[2]]。Cherry等对中国上海和昆明两座城市电动车的调查研究，并且对电动车禁令的两面性进行了理论分析[3]。Guo和Wilson研究了铁路和地铁之间的转乘政策特别是价格对出行者交通行为的影响[4]。Timmerman等分别运用群体决策理论、最优理论、潜在等级理论、基于准则的模型以及微观模拟方法进行实证分析[5]。Sunitiyoso和Matsumoto考虑出行者的心理和社会因素对出行者在公交车和小汽车之间选择的影响[6]。郭淑骋利用显示性偏好（RP）调查，通过非集计模型研究了各交通工具转乘比例[7]。柴彦威在著述中以城市通勤者为研究对象进行了理论分析[8]。卞长志和陆化普利用Logit模型研究了公共交通系统内部不同方式的分担率，建立了票价博弈模型及求解算法[9]。以上研究主要研究现有的常规交通方式选择，新交通方式加入后对城市通勤者出行影响研究甚少。

本文运用基本 Nested Logit 模型构建通勤者出行方式分担模型，将以成都地铁 1 号线为研究重点，在 SP 调查（出行意向调查）和 RP 调查（出行行为调查）数据基础上，考察通勤人员在地铁修建后的选择意向，分析其他交通方式向地铁的转移量，以及私人交通向公共交通的转移量，并进行敏感性分析，以考虑各因素（票价、出行时间、地铁站到公司距离等）对通勤者出行选择的影响。

1　通勤者出行层次结构

在 Nested Logit 模型基础上构建通勤者出行方式分担模型，针对城市通勤者假设：（1）通勤者出行时选择对个人出行效用最大的方案；（2）所有通勤者具有相同的出行效用函数；（3）效用函数中固定项和随机项呈线性关系；（4）各选择方案的随机项是相互独立的，并且服从参数为（0,1）的同一 Gumble 分布。

在构建模型时首先要建立交通方式巢式层次结构，根据实际情况将成都市交通方式界定为：（1）轨道交通仅限地铁 1 号线；（2）自行车和电动车在实际使用过程中相似性极高，均纳入非机动车；（3）根据成都《关于

作者简介：孔萍（1987-），女，四川蓬溪人，硕士研究生；李淑朋（1985-），男，山东临沂人，硕士研究生；李军（1967-），四川资阳人，教授，博士生导师.

调整高污染机动车限制通行区域和时段的通告》规定，2009 年 5 月 1 日起，摩托车不得进入三环以内行驶，因此摩托车不在考虑之列；（4）通过试调查，48 位被调查者中无一人选择出租车作为经常使用交通工具，选择出租车是偶然事件，因此出租车不在考虑之列；（5）试调查中，仅有 2.7%的通勤者可以选择公司专车，同时公司专车不具有公共交通工具的基本特性，将其纳入私人交通。综合以上信息，本文通勤者出行巢式层次结构如图 1 所示。

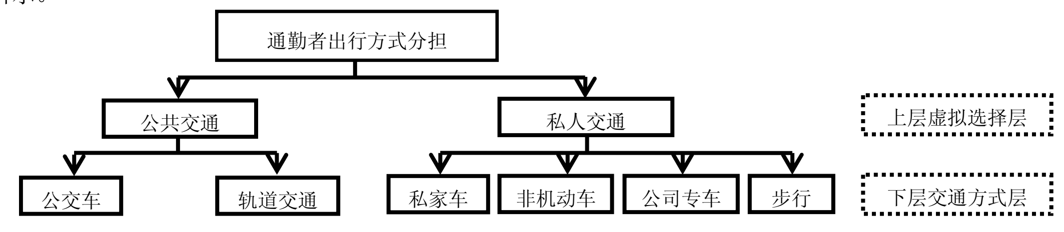


图 1　通勤者出行巢式层次结构

结构划分不同，其模型精度也有不同[10]。对于此模型结构的有效性将在数据分析中利用拟合优度度量、模型命中率等进行检验。

2　方案设计与数据采集

2.1　方案设计

通勤者交通方式的选择取决于通勤者的社会经济特征、出行方式属性和交通工具的服务特性。本研究在考虑通勤者出行方式模型中，特征变量包括性别(X_1)、年龄(X_2)、收入(X_3)、职业(X_4)、有无非机动车(X_5)、有无天府卡(X_6)、有无小汽车(X_7)、有无驾照(X_8)、有无公司专车(X_9)、下班时间(X_{10})、到家时间(X_{11})、地铁开通前交通方式(X_{12})、最高承受票价(X_{13})、最长忍受步行时间(X_{14})、下班出行时间(X_{15})、下班出行费用(X_{16})，其中收入按 1000 元一个等级划分，到家时间以 17:30 后半个小时一个等级，最高承受票价 1 元一个等级，最长忍受步行时间以 5 分钟一个等级，建立相应交通方式的效用函数为：

$$V_{(r|m)_n}=\beta_1X_{1rn}+\beta_2X_{2rn}+\beta_3X_{3rn}+\beta_4X_{4rn}+\beta_5X_{5rn}+\beta_6X_{6rn}+\beta_7X_{7rn}+\beta_8X_{8rn}+\beta_9X_{9rn}$$
$$+\beta_{10}X_{10rn}+\beta_{11}X_{11rn}+\beta_{12}X_{12rn}+\beta_{13}X_{13rn}+\beta_{14}X_{14rn}+\beta_{15}X_{15rn}+\beta_{16}X_{16rn}$$

其中：$\beta=(\beta_1,\beta_2,\cdots,\beta_{16})$为待标定的参数向量。

2.2　数据统计

为考察通勤者日常出行行为，本文对调查对象作如下假设：1)通勤者上、下班所采用的交通方式、花费的时间和费用相同；2)通勤者下班直接回家，没有其他活动安排。根据前面通勤者出行方式分担模型的假设，本研究选择匹配性较好的高新区地铁站及周边作为调查点。两次调查后通过多阶段随机抽样方法共回收问卷 642 份，有效问卷 623 份。其中被调查者男女比例 1∶1.02，对通勤者年龄、收入、职业和天府卡持有情况进行统计，如图 2～5 所示。

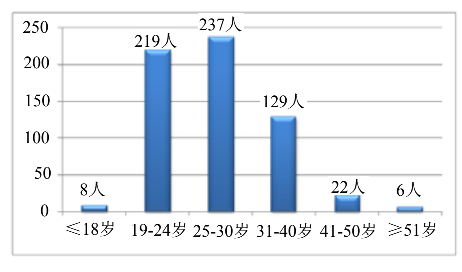


图 2　通勤者年龄分布

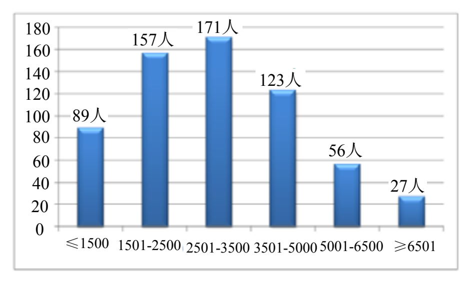


图 3　通勤者收入分布

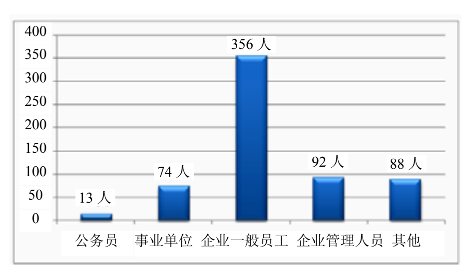


图 4　通勤者职业特征

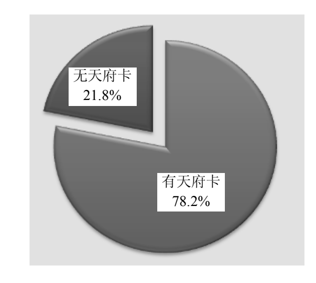


图 5　通勤者天府卡持有程度

2.3　数据分析

统计对比 623 位被调查者在地铁 1 号线开通前后交通方式变化，得到地铁开通后有 36.6%的人群转移到地铁，使用公交的比例减少 33%，尤其是公交转乘公交的方式变化最大，也有 1.9%的私家车人群转移到地铁。而非机动车比例增加，是由于近期非机动车拥有量有所增加，符合实际情况。虽然乘坐公司专车和步行的人群减少幅度不大，但相对于原本较少的人群减少比例较大，结果如图 6 所示。

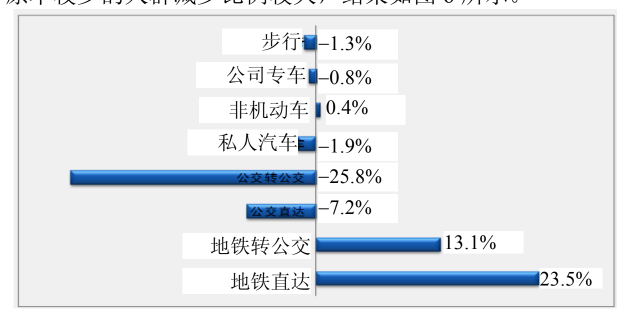


图 6　地铁 1 号线开通前后通勤者交通方式变化程度

采用 SAS 9.2 编程求解，经过 3 次 t 检验，重复剔除无关变量，最后在 5%的显著性水平上，有无天府卡(card)、有无公司专车(comanybus)、地铁未开通前出行方式（tmode）、出行时间（ttime）、出行费用(tprice)五个特性变量通过 t 检验，得到参数估计结果（如表 1 所示）和拟合优度度量（如表 2 所示）。

表 1　SAS 9.2 参数标定和 t 检验结果（第三次）

Parameter	*DF*	*Estimate*	*Standard Error*	*t Value*	*Approx Pr>|t|*
card_L1	1	0.5533	0.1538	3.6	0.0003
companybus_L1	1	-1.9166	0.604	-3.17	0.0015
tmode_L1	1	-0.4194	0.0416	-10.07	<.0001
ttime_L1	1	-0.003305	0.001267	-2.61	0.0091
tprice_L1	1	0.414	0.045	9.2	<.0001
INC_L2G1C1	1	2.4357	0.2993	8.14	<.0001
INC_L2G1C2	1	0.4568	0.0708	6.45	<.0001

表 2　拟合优度度量表

Num.	*Measure*	*Value*	*Formula*
1	Likelihood Ratio (R)	521.09	$-2(L(0)-L(\hat{\theta}))$
2	Upper Bound of R (U)	1672.8	-2L(0)
3	Aldrich-Nelson	0.4555	R/(R+N)
4	Cragg-Uhler 1	0.5667	1-exp(-R/N)

（续表）

Num.	*Measure*	*Value*	*Formula*
5	Cragg-Uhler 2	0.6082	(1-exp(-R/N))/(1-exp(-U/N))
6	Estrella	0.6329	1-(1-R/U)^(U/N)
7	Adjusted Estrella	0.6243	1-((LogL-K)/LogL0)^(-2/N*LogL0)
8	McFadden's LRI	0.3115	R/U
9	Veall-Zimmermann	0.6251	(R*(U+N))/(U*(R+N))

表 1 数据显示：(1)以成都高新区周边为代表的地铁 1 号线覆盖区域，性别、年龄、收入和职业对通勤者影响不够明显。(2)成都地铁 1 号线开通后，私家车拥有情况对通勤者影响不明显，说明地铁开通能够缓解私家车拥有者对私家车的依赖。(3)天府卡参数为正，说明推广天府卡优惠政策，可以较好地吸引客流向公共交通转移。(4)通勤者出行费用参数为正，表明在一定范围内某交通方式费用越高，通勤者效用越大，由费用反映出来的速度、准时性等对选择有较大影响。(5)被调查者选择地铁比例较大，在未来的地铁规划中，要充分考虑以高新区为代表的通勤集中区域，促进集中区域人群转向大运量公共交通。

从表 2 可知，R/U=0.3115，模型具有较高的优度比。根据命中率的计算公式：$\mathrm{HitR}=\frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}(S_{1n}+S_{2n}\cdots S_{kn})$，虚拟选择层的命中率为 HitR =0.8156，下层交通方式层 HitR =0.7256，加之表 2 中其他指标说明模型具有较高的精度。集计每个被调查者对各交通方式的选择概率得到各交通方式对通勤者的分担比率（如图 7 所示）。



图 7　通勤者出行方式分担比率

图 7 反映出地铁开通后，地铁承担了接近一半的通勤者客流量，有效转移了地面客流量，缓解地面交通拥堵。

3　敏感性分析

为进一步考察模型变量对通勤者出行方式的影响，将对其影响因素进行敏感性分析。

3.1　地铁票价敏感性分析

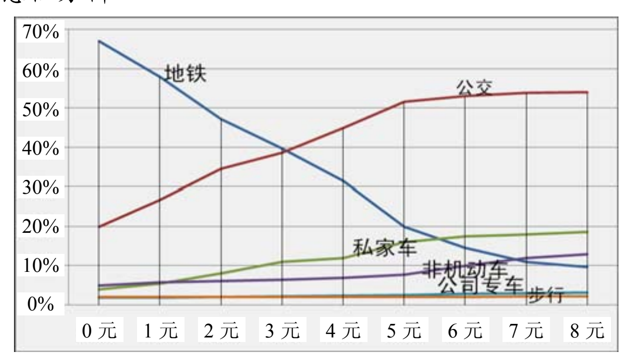


图 8　地铁票价敏感性分析

进行地铁票价敏感性的基本设定是地铁站口距公司的距离为 0.5km（步行 8 分钟），下班回家时，地铁可通向住所周围站点。对地铁票价调整易得，当地铁票价在 5 元时，人数已减少至 20%，减少了近 2/3。当票价超过 7 元时，乘坐地铁的人数已降为 10%以下，地铁已不能发挥公共交通的优势。同时，随着地铁票价的增加，公交的乘坐率平滑上升，直到票价在 5 元以后，乘坐比例几乎稳定。另外，非机动车和私家车也呈较明显上升趋势，步行和公司专业略有增加，但变化不明显。故地铁票价应维持在 5 元以内，如图 8 所示。

3.2 地铁站到公司步行时间敏感性分析

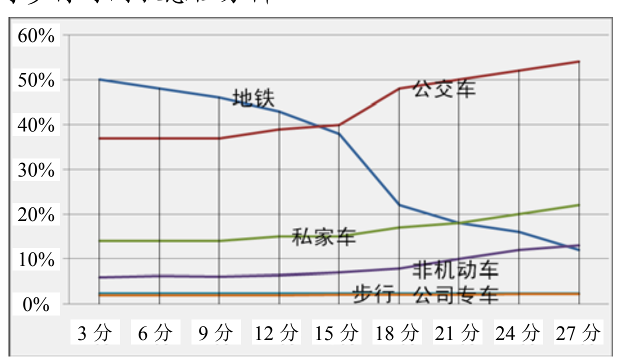


图 9 公司到地铁站口步行时间敏感性分析

对步行时间进行 SP 调查得如图 9 所示，随着公司跟地铁站步行时间的增加，人们选择地铁的概率有所下降，超过 15 分钟后急剧下降。人步行的速度为 4km/h，将步行时间与距离进行换算，表明公司跟地铁站口距离最好控制在 1km 以内。

3.3 下班回家出行距离

下班回家出行距离是指下班从公司到家这一段距离，由于步行受距离影响很大，且本研究以 2km 为一个单位，选择步行的人群在 2km 以上非常低，故未纳入此次分析，如图 10 所示。

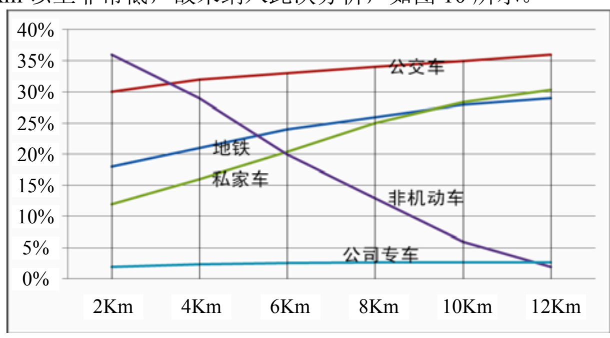


图 10 下班回家出行距离敏感性分析

从上图显示，随着出行距离的增加，非机动车以较大幅度下降，直到下降到 5%以下；地铁、私家车、公交车都有不同程度增加，其中以私家车增加幅度最大，尤其在长距离下班回家时，私家车占有比较大的优势；同时也发现在距离达到 8km 以上时，地铁和公交车变化率减小，交通分担率较为稳定。当距离再增加时，由于交通工具自身服务特性所限，公共交通的分担率反而会下降。

4 结论

本文研究的重点是成都地铁 1 号线开通后通勤者出行方式分担问题。根据成都实际情况建立通勤者出行方式分层结构，运用双层 Nested Logit 模型，重复剔除无关变量得到精度较高的模型，进而得到成都地铁 1 号线

开通后通勤者选择各交通方式比率，以及选择与个人的性别、年龄、职业、收入关系不明显，但与有无公交卡、出行的时间和费用关系密切，最后对地铁票价、地铁站到公司步行时间、下班回家出行距离等因素进行敏感性分析，提出相关政策建议。

本文中成都地铁仅 1 号线开通，调查地点单一并且靠近地铁站，使得选择地铁比例明显高于成都市地铁实际分担比率。随着成都地铁网络日益完善，今后在增加调查点数量，扩大数据覆盖面，推广模型应用范围等方面做进一步研究。

参考文献

[1] 中国·成都（成都市人民政府门户网站）.关于调整高污染机动车限制通行区域和时段的通告[EB/OL].http://www.chengdu.gov.cn/GovInfoOpens2/detail_allpurpose.jsp?id=OdnjYzz2KOv1MMzl2uGm

[2] Md. Shoaib Chowdhury. Optimization of Transfer Coordination for Intermodal Transit Networks[J].Transportation Research Board, Washington, DC. 2001

[3] Christopher Cherry, Robert Cervero. Use characteristics and mode choice behavior of electric bike users in China[J].Transport Policy. 2007, 14(3): 247-257

[4] Z Guo, NHM Wilson. Modeling Effects of Transit System Transfers on Travel Behavior: Case of Commuter Rail and Subway in Downtown Boston, Massachusetts[J]. Transportation Research Record.2007, (12): 11-20

[5] Harry J. P. Timmermans, Junyi Zhang. Modeling household activity travel behavior: Examples of state of the art modeling approaches and research agenda[J]. Transportation Research Part B. 2009 (43): 187-190

[6] Y. Sunitiyoso, S. Matsumoto .Modeling a social dilemma of mode choice based on commuters' expectations and social learning[J]. European Journal of Operational Research. 2009 ,(193): 904–914

[7] 郭淑娉. 台北地区居民至木栅动物园之郊游旅次运具选择之研究.[J]. 立德学报(台)，2001(5)：49-62

[8] 柴彦威，刘志林等. 中国城市的时空间结构[M]. 北京:北京大学出版社，2002

[9] 卞长志，陆化普. 城市轨道交通和常规公交的票价博弈研究[J]. 公路工程，2009(1)

[10] 关宏志. 非集计模型研究——交通行为分析工具[M]. 北京：人民交通出版社，2004

research on THE Influence for Commuters＇Travel Mode after THE Operation of Chengdu Metro Line 1

KONG Ping　LI Shu-peng　LI Jun

(School of Economics & Management, Southwest Jiaotong University，Chengdu 610031，China)

Abstract: This paper established the commuter traffic-sharing model grounded on Nested Logit model and analyzed the sharing rate of travel mode for commuters by the questionnaire, after the operation of Chengdu Metro Line 1. In addition, sensitive analysis on factors, like ticket price and walking time to subway station, is included to research the effects of those factors on commuters systematically and to provide a more powerful theoretical and practical basis for urban transportation construction.

Keywords: Commuter;　Metro Line 1;　Nested Logit model;　Trip mode share

基于QFD的航空旅客需求重要度确定方法

韩明亮　李豫川
（中国民航大学经济与管理学院　天津　300300）

摘　要：质量功能展开(Quality Function Deployment ,QFD)作为航空公司关注顾客需求，提高顾客满意度的一种有效方法，其确定顾客需求重要度权重是保证方法有效性的关键。本文通过分析以往确定顾客需求重要度方法的优点与不足，引入模糊理论，并综合考虑调研数据的重要性，提出了一种新的方法，在一定程度上使得QFD 中顾客需求重要度的确定更加客观、合理，对航空公司提高服务质量，增强竞争力有一定积极作用。

关键词：航空公司；QFD; 顾客需求重要度；模糊层次分析

0　引言

航空运输业作为大型的服务性行业，服务质量的好坏直接影响航空运输企业的形象和效益。质量的实质是让顾客满意，即在合理的质量成本基础上最大限度地满足顾客的需求。如今，国际航空市场竞争日益加剧，竞争的焦点之一就是“争夺顾客”。顾客是民航业利润的直接源泉，是影响和制约着企业乃至整个产业生存与发展的战略性资产；顾客满意度是提高民航业经济效益，增强航空公司竞争力的关键所在。因此，对任何一家航空公司来说，了解顾客的需求并将其转变为企业的优势是在竞争日益加剧的空运市场上获得成功的关键。

质量功能展开（Quality Function Deployment，QFD）是一种顾客需求驱动的产品开发和决策方法，它通过瞄准顾客满意来开发设计质量、并把顾客需求转化为设计目标和整个服务阶段的主要质量保证点。它借助于一系列图表，将顾客需求逐级分解，对各级需求的重要度加权评价来找出对服务质量起关键作用的因素。在这个过程中，确定顾客需求的重要度是关键步骤，以此为基础，航空公司可以设计出更加合理的服务规范，提高顾客满意度，从而增强自身的竞争力。

1　传统的HOQ中确定顾客需求重要性程度的方法及其局限性

在传统的质量屋（HOQ）中，确定顾客需求重要性程度的一般有以下几种方法：

（1）德尔菲法（专家评价法）　假设有K个有经验的专家，第k个专家对m个顾客要求给定的权重系数为 $\omega_{1k},\omega_{2k},\cdots,\omega_{mk}(k=1,2,\cdots,K)$。集中$K$个专家的意见，即经过统计 $\omega_l'=\frac{1}{K}\sum_{k=1}^{K}\omega_{lk}(l=1,2,\cdots,m)$。然后再把结果返回给专家。这样经过几次反复，最后确定m个顾客需求的重要性系数 $w_1,w_2,\cdots,w_m,0\leqslant w_l\leqslant 1,\sum_{l=1}^{m}w_l=1$。德尔菲法需要有K个有经验的专家进行判断和调整，但一个企业内的专家可能由于企业文化的影响而形成一种一致的，但却不是客观的顾客需求重要性的观念，因此，主观上的判断容易造成偏差。而顾客需求的重要性系数是反映顾客需求重要性程度的指标，所以利用从顾客那里得到的信息是最重要的。

（2）顾客调查法　在顾客需求整理完成以后，向顾客重新发放调查表，然后计算出顾客需求的重要性系

作者简介：韩明亮（1963-），男，辽宁槐仁人，教授，主要研究方向：航空运输系统工程；李豫川（1987-），男，河南鹤壁人，硕士研究生，主要研究方向：航空运输系统工程

数 $w_1, w_2, \cdots, w_m, 0 \leqslant w_l \leqslant 1, \sum_{l=1}^{m} w_l = 1$。顾客调查法需要在确定顾客需求后重新发放调查表，让顾客选择每一项顾客需求的重要性程度。这样一方面会增加企业的调研成本及产品开发周期的长度，另一方面，让顾客填写顾客需求的绝对重要性程度是比较困难的，也不易形成一个正确一致的结论。

（3）群体AHP（层次分析法）法　设共有K个专家参与顾客需求权重系数的确定。设第k个专家认为第i 个顾客需求相对于第j个顾客需求的相对重要性为 $a_{ij}^{k}(i, j = 1, 2, \cdots, m;\ k = 1, 2, \cdots, K)$，则共给出如下的$K$个判断矩阵:

$$\begin{pmatrix} a^1_{11} & \cdots & a^1_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a^1_{m1} & \cdots & a^1_{mm} \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} a^2_{11} & \cdots & a^2_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a^2_{m1} & \cdots & a^2_{mm} \end{pmatrix} \quad \cdots \quad \begin{pmatrix} a^K_{11} & \cdots & a^K_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a^K_{m1} & \cdots & a^K_{mm} \end{pmatrix}$$

当专家给出的判断矩阵一致性较差，即对某两个顾客需求相对重要性的判断差距较大时，就需要由专家对其重新协商和判断。当所有的相对重要性系数都给定后，就将专家的意见按下述方法进行综合:

①当$i<j$时，取各专家判断值的算术平均值，即 $a_{ij} = \frac{1}{K}\sum_{k=1}^{K} a_{ij}{}^{k} (i = 1, 2, \cdots, m-1; j = i+1, \cdots, m)$;

②当$i>j$时，取 $a_{ij} = \frac{K}{\sum_{k=1}^{K} a_{ji}{}^{k}} = \frac{K}{\sum_{k=1}^{K} a_{ij}{}^{k}}$，即取各专家判断值的调和平均数；

③当$i=j$时，取 $a_{ij} = 1$。

这样就得到综合了K个专家意见的判断矩阵。解出其最大特征值 $\lambda_{\max}$ 及其对应的特征向量 $w = (w_1, w_2, \cdots, w_m)$，并对 $w = (w_1, w_2, \cdots, w_m)$ 进行归一化处理，得到顾客需求权重 $\overline{w} = (\overline{w_1}, \overline{w_2}, \ldots, \overline{w_m})$，最后进行一致性判断，如不一致，则重复上述过程。

AHP法本质上是一种多目标群体决策方法，在进行一致性检验时，存在很大的困难。近年来，针对传统的确定顾客需求重要性程度方法的局限性，有些人提出了用模糊一致性矩阵法来解决，形成了模糊层次分析法，也有人从顾客调研数据的角度，把顾客需求的主观重要度同客观重要性结合在一起，形成了权重概率综合系数法，但不论哪种方法都只考虑了一个方面的因素。权重概率综合系数法存在的问题是，只加入了对顾客主观重要性信息的使用，而在使用判断矩阵时，没有运用模糊的思想，因此判断矩阵的可靠性无法保证；而模糊层次分析法存在的问题是，只考虑了提高判断矩阵的可靠性，而没有考虑对顾客进行市场调研得到的原始数据，从而忽略了顾客的主观重要性。

本文提出了一种能够将顾客主观重要性信息的使用与提高判断矩阵可靠性相结合的权重确定方法，其基本思想是：一方面，对各个专家给出的确定型两两判断矩阵用模糊三角数的形式加以合成，形成群体模糊两两判断矩阵，然后根据模糊三角数的性质以及一定的运算方法，确定出该群体模糊判断矩阵的模糊权重向量，对模糊权重向量再根据群体决策的思想进行处理，形成一个交互式的权重向量决策分析过程，最终确定出决策者满意的群体决策权重向量，提高判断矩阵的可靠性。另一方面，充分利用市场调研数据所得出的先验概率信息，把顾客需求的主观重要性同客观重要性信息相结合在一起，达到加入顾客主观信息使用的目的。

2　模糊层次分析综合系数法基本步骤

假定通过专家评价法，已经确定出第k个专家在某一准则下对其下属层次中第i以及j两个要素之间的相对重要程度的判断为 b_{ijk}，形成第k个专家的两两比较判断矩阵 $B(k) = (b_{ijk})$。假设有m个决策方案或者要考虑的评价指标，目的是要确定这m个决策方案关于该决策准则的决策权重，具体步骤如下：

第一步：建立群体模糊判断矩阵

两两比较判断矩阵包含了参与决策专家的意见，其中的相对重要程度判断具有不确定性，本方法采用模糊

三角数来整合专家的意见，以求在决策主观意见的基础上建立一个较为客观的模糊群体判断矩阵。用三角模糊数表示的群体两两判断矩阵如下：

$B=(B_{ij})$，其中 B_{ij} 为三角模糊数，通过如下方法确定

$B_{ij}=[\alpha_{ij},\beta_{ij},\gamma_{ij}],\ \alpha_{ij}\leqslant\beta_{ij}\leqslant\gamma_{ij}$，且 $\alpha_{ij},\beta_{ij},\gamma_{ij}\in[\frac{1}{9},1]\cup[1,9],\ B_{ij}$ 为三角模糊数；

其中 $\alpha_{ij}=\min\limits_{k}(b_{ijk})$。

$\beta_{ij}=\underset{k}{Geomean}(b_{ijk})$，这里的 $Geomean$ 表示几何平均，还可以是考虑各个专家权重采用加权几何平均。

$\gamma_{ij}=\max\limits_{k}(b_{ijk})$

第二步：确定群体模糊权重向量

基于群体模糊判断矩阵 $B=(B_{ij})$，用列向量几何平均法，确定出相应的模糊权重向量如下：

对任意的 $j(j=1,2,\cdots,m)$，计算 $r_j=(B_{1j}\times B_{2j}\times\cdots\times B_{mj})^{\frac{1}{m}}$，进一步可以将 r_j 标准化为 w_j，$w_j=r_j/(r_1+r_2+\cdots+r_m),j=1,2,\cdots,m$

第三步：单准则权重决策分析

首先用模糊分析中的截集概念进行权重的反模糊化分析，令 $\alpha\in[0,1]$ 表示截值参数，假设 $w_i=(w_i^L,\ w_i^M,\ w_i^U)$，令

$w_i^L(\alpha)=(w_i^M-w_i^L)\alpha+w_i^L$

$w_i^U(\alpha)=(w_i^U-w_i^M)\alpha+w_i^M$　　（其中 λ 为决策者对权重的乐观系数）

$w_i(\alpha,\lambda)=\lambda w_i^U(\alpha)+(1-\lambda)w_i^L(\alpha)$

进一步将 $w_i(\alpha,\lambda)$ 规范化，得到归一化权重向量 $w_i(\alpha,\lambda)=w_i(\alpha,\lambda)/(\sum w_i(\alpha,\lambda))$。

现在的决策权重依赖于两个参数 α 和 λ，两参数含义如下：

α 反映权重关于决策专家判断意见的变动程度，α=0时，综合权重包含了各位专家最多的决策权重信息，决策的变动范围最大；α=1时，综合权重包含了各位专家最少的决策权重信息，实际上就等于不进行模糊化处理时，专家决策权重的合成方法。因此 α 是一个决策环境参数。

λ 代表着整合决策者决策权重的一种参数，当 λ=1时，专家的意见都取权重的上限，最乐观；当 λ=0时，专家都采取保守的态度，取各自权重的下限。因此，λ 可以称为决策乐观系数。

在实际权重确定过程中，如果专家组对问题的共识性较高时，可以选择较大的 α；否则可以选择较小的 α。而 λ 的选择则反映决策者评价问题的乐观程度，越乐观，对应的值越大。

第四步：计算先验概率

令 $p_i(i=1,2,\cdots,m)$ 为第i项顾客需求出现的概率，即 $p_i=\dfrac{b_i}{\sum\limits_{i=1}^{m}b_i}\quad(i=1,2,\cdots,m)$

b_i 为第i项顾客需求出现的频数。

第五步：得出综合后的重要性系数

我们进一步把顾客需求的主观重要性权重 $w_i(\alpha,\lambda)$ 与其先验概率 $p_i(i=1,2,\cdots,m)$ 的乘积的平方根值进行归一化处理，得到 $w_i=\dfrac{\sqrt{w_i(\alpha,\lambda)\cdot p_i}}{\sum\limits_{i=1}^{m}\sqrt{w_i(\alpha,\lambda)\cdot p_i}}\quad(i=1,2,\cdots,m)$

我们把 w_i 定义为顾客最终的重要性系数。

3 应用举例

综观国内外航空旅客市场，顾客对航空运输的需求可概括为三个方面：旅客服务、航班运营和机场设施。顾客的需求主要包括安全性，时间性，行李、飞机、各种设备设施等的可靠性，引导标志明确，环境整洁舒适和有秩序等。这些需求包括从订座、出票、地面服务、值机、安检、候机、登机、机上服务、行李交运及运输后服务等各项工序的全过程。因此在运用QFD进行服务设计的过程中，需要确定各项顾客需求的重要程度，保证设计的准确性和有效性。

为验证上述方法的正确性和实用性，在这里对某航空公司的QFD顾客需求的权重确定进行了运用，经过实验性调研分析，确定了4项顾客需求，分别为航班正点、机票价格合理、航班时刻合理、安全性高（分别记为C_1,C_2,C_3,C_4），同时，聘请四位专家，记为E_1,E_2,E_3,E_4,分别对这四个方面的顾客需求进行评价，专家给出的两两判断矩阵如下：

$$E_1=\begin{bmatrix}1 & 1/2 & 1/3 & 1/4\\ 2 & 1 & 2/3 & 1/2\\ 3 & 3/2 & 1 & 3/4\\ 4 & 2 & 4/3 & 1\end{bmatrix}\qquad E_2=\begin{bmatrix}1 & 2 & 2/3 & 1/2\\ 1/2 & 1 & 1/3 & 1/4\\ 3/2 & 3 & 1 & 3/4\\ 2 & 4 & 4/3 & 1\end{bmatrix}$$

$$E_3=\begin{bmatrix}1 & 1/3 & 1/2 & 1/4\\ 3 & 1 & 3/2 & 3/4\\ 2 & 2/3 & 1 & 1/2\\ 4 & 4/3 & 2 & 1\end{bmatrix}\qquad E_4=\begin{bmatrix}1 & 4/3 & 2 & 4\\ 3/4 & 1 & 3/2 & 3\\ 1/2 & 2/3 & 1 & 2\\ 1/4 & 1/3 & 1/2 & 1\end{bmatrix}$$

据此，构造该专家组的群体模糊两两判断矩阵$B=(B_{ij})$如下：

$$\alpha_{ij}=\begin{bmatrix}1.00 & 0.33 & 0.33 & 0.25\\ 0.50 & 1.00 & 0.33 & 0.25\\ 0.50 & 0.67 & 1.00 & 0.50\\ 0.25 & 0.33 & 0.50 & 1.00\end{bmatrix}$$

例如：$\alpha_{11}=\min(1,1,1,1)=1.00 \qquad \alpha_{12}=\min(\frac{1}{2},2,\frac{1}{3},\frac{4}{3})=0.33 \quad \cdots$

$$\beta_{ij}=\begin{bmatrix}1.00 & 0.82 & 0.69 & 0.60\\ 1.23 & 1.00 & 0.84 & 0.78\\ 1.46 & 1.46 & 1.00 & 0.80\\ 1.68 & 1.37 & 1.55 & 1.00\end{bmatrix}$$

例如：$\beta_{11}=\sqrt[4]{1\times1\times1\times1}=1.00 \qquad \beta_{12}=\sqrt[4]{\frac{1}{2}\times2\times\frac{1}{3}\times\frac{4}{3}}=0.82 \quad \cdots$

$$\gamma_{ij}=\begin{bmatrix}1.00 & 2.00 & 2.00 & 4.00\\ 3.00 & 1.00 & 1.50 & 4,00\\ 3.00 & 3.00 & 1.00 & 2.00\\ 4.00 & 2.00 & 2.00 & 1.00\end{bmatrix}$$

例如：$\gamma_{11}=\max(1,1,1,1)=1.00 \qquad \gamma_{12}=\max(\frac{1}{2},2,\frac{1}{3},\frac{4}{3})=2.00 \quad \cdots$

据此可求得群体的标准化模糊权重向量：

$w_1=(0.129,0.240,0.631)$　　具体计算过程如下：

$r_1=\sqrt[4]{(1\times0.33\times0.33\times0.25)}=0.41 \qquad r_2=\sqrt[4]{(1\times0.82\times0.69\times0.60)}=0.76 \qquad r_3=\sqrt[4]{(1\times2\times2\times4)}=2$

$$w_{11}=r_1/(r_1+r_2+r_3)=\frac{0.41}{0.41+0.76+2}=0.129$$

$$w_{12}=r_2/(r_1+r_2+r_3)=\frac{0.76}{0.41+0.76+2}=0.240$$

$$w_{13} = r_3 /(r_1 + r_2 + r_3) = \frac{2}{0.41 + 0.76 + 2} = 0.631$$

同理可算出 $w_2 = (0.130, 0.274, 0.596)$　　$w_3 = (0.167, 0.297, 0.536)$　　$w_4 = (0.118, 0.359, 0.523)$

假定决策环境参数为 $\alpha = 0.5$，决策乐观系数为 $\lambda = 0.8$

$$w_1^L(\alpha) = (0.240 - 0.129) * 0.5 + 0.129 = 0.1845 \qquad w_1^U(\alpha) = (0.631 - 0.240) * 0.5 + 0.240 = 0.4355$$

$$w_1(\alpha, \lambda) = \lambda w_1^U(\alpha) + (1 - \lambda) w_1^L(\alpha) = 0.8 * 0.4355 + 0.2 * 0.1845 = 0.3854$$

同理可算出 $w_2(\alpha, \lambda) = 0.3884$　　$w_3(\alpha, \lambda) = 0.3796$　　$w_4(\alpha, \lambda) = 0.4005$

$$W_1(\alpha, \lambda) = w_i(\alpha, \lambda) / (\sum w_i(\alpha, \lambda)) = \frac{0.3854}{0.3854 + 0.3884 + 0.3796 + 0.4005} = 0.248$$

同理可算得 $W_2(\alpha, \lambda) = 0.250$　　$W_3(\alpha, \lambda) = 0.244$　　$W_4(\alpha, \lambda) = 0.258$

因此得出顾客主观重要性权重为 $W = (0.248, 0.250, 0.244, 0.258)$

我们在某航空公司对231名旅客进行了调查，其统计结果如表1所示。

表 1　调查结果统计表

顾客需求	航班正点 C_1	票价合理 C_2	航班时刻合理 C_3	安全性高 C_4
顾客数	194	184	42	42

由表可知顾客的先验概率向量 $P = (p_1, p_2, p_3, p_4) = (0.420, 0.398, 0.091, 0.091)$

$\sqrt{w_1(\alpha, \lambda) \cdot p_1} = \sqrt{0.248 \times 0.420} = 0.3227$　　$\sqrt{w_2(\alpha, \lambda) \cdot p_2} = \sqrt{0.250 \times 0.398} = 0.3154$

$\sqrt{w_3(\alpha, \lambda) \cdot p_3} = \sqrt{0.244 \times 0.091} = 0.1490$　　$\sqrt{w_4(\alpha, \lambda) \cdot p_4} = \sqrt{0.258 \times 0.091} = 0.1532$

进一步计算得 $w_1 = \frac{0.3227}{0.3227 + 0.3154 + 0.1490 + 0.1532} = 0.343$

同理可得：$w_2 = 0.335$　　$w_3 = 0.158$　　$w_4 = 0.164$

则得出最终的顾客需求重要性权重为　$w = (w_1, w_2, w_3, w_4) = (0.343, 0.335, 0.158, 0.164)$

根据以上分析和计算的结果，与该航空公司客户服务部的管理技术人员和销售人员进行了认真讨论，认为该结果是比较客观可靠的。

4　结论

顾客需求重要度的确定是航空公司QFD应用中的一个基本问题。本文在传统的确定顾客需求重要度方法的基础上，将模糊层次分析法与权重概率综合系数法相结合，既有效地提高了专家判断矩阵的可靠性和决策者的参与，也充分使用了调查得到的顾客的主观要求，从而进一步提高了最终重要度的科学性、合理性和客观性，为航空公司QFD使用效果的准确性和可行性起到了积极的促进作用。

参考文献

[1] 孔造杰，郝永敬. 用权重概率综合系数法确定 QFD 中顾客需求重要性[J]. 计算机集成制造系统，2001，7（2）：65-67

[2] 冯俊文. 模糊德尔菲层次分析法及其应用[J]. 数学的实践与认识，2006，36（9）：44-48

[3] 尉少坤. 用层次分析法（AHP）确定 QFD 中客户需求权重[J]. 机械设计与制造，2005，6：170-171

[4] 杨明顺，林志航. QFD 中顾客需求重要度确定的一种方法[J]. 管理科学学报，2003，6（5）：65-71

[5] 谢泗薪，张金成. QFD 与航空运输服务设计[J]. 决策借鉴，2001，14（5）：40-48

[6] 赵凤彩，陈玉宝. 质量功能展开（QFD）方法及其在航空公司质量管理中的应用[J]. 中国民航学院学报，2000，18（2）：8-13

An Approach of Identifying Airline Customer Requirements Weights Based on QFD

HAN Ming-liang，LI Yu-chuan
(Economics and Management College of CAUC，Tianjin 300300，China)

Abstract: Quality Function Deployment as an effective way for airlines to focus on the customer requirements and improve customer satisfaction, determine the weight of customer requirements is the key to ensure the effectiveness of methods.This paper analyzes the methods of the advantages and deficiency which was previously established, combine with the fuzzy theory, and gives a new approach finally considering the importance of research data. To some extent,this approach is more objective and reasonable, and play a positive role for airlines to improve service quality, and enhance the competitiveness.

Keywords: airlines; QFD; customer requirements weights; FAHP

基于AHP的GRAP在航材承修商评价中的应用

韩明亮　王　珺

（中国民航大学经济与管理学院　天津　300300）

摘　要：科学合理地选择航材承修商，既是航空公司正常运营的基础和保障，又关系到整个行业的效率和企业竞争力。本文将 AHP 法和灰色关联分析法相融合，建立航材承修商评价模型。利用 AHP 软件计算出准则层中各评价指标权重，并利用灰色关联分析法计算关联度。计算出的关联度大小顺序就是各航材承修商评价的优劣次序，以此作航空公司选择最优承修商的决策依据。通过实例说明这种综合评价方法具有可行性和科学性。

关键字：层次分析法；灰色关联分析；航材承修商评价

0　引言

在当今航空市场竞争异常激烈的情况下，单单靠增加客座率提高航空公司效益已经变得非常困难，而加强成本控制与管理，已成为提高航空公司经济效益和保持竞争优势的根本途径。航空公司运营成本的 10%～20%用于飞机维修，而航材送修成本是飞机维修成本的重要组成部分。飞机维修不仅为航空公司运行提供安全保障并确保飞机的持续适航状态，而且为航空公司的航班计划准时地提供可用的飞机，可见航材维修是确保航空公司得以运营的重要技术保障。面对数量众多的航材承修商，如何在保证质量的情况下选择能够降低航空公司运营成本的承修商，这对航空公司来说具有重要意义。

由于影响航空公司选择航材承修商的因素比较复杂，人们在评价时只能选择重要的评价指标进行分析。而所选取的评价指标中既有定量指标，又有定性指标。定量指标的数据可以通过现有的统计资料中获取，但是有些却无法获取，这就说明该体系明显具有信息不完全的灰色特征，即承修商评价体系是一个灰色系统。因此，采用灰色关联分析法研究航材承修商的评价是非常适合的。

1　基于AHP的灰色关联分析的综合评价模型的基本思路

层次分析法[1]十分适用于具有定性的，或定性、定量兼有的决策分析，它是一种十分有效的系统分析和科学决策方法。它将复杂问题分解成各个组成因素，将这些因素按支配关系分组形成有序的递阶层次结构，通过两两比较的方式来确定层次中诸因素的相对重要性，综合人的判断以决定决策诸因素相对重要性总的顺序。并在复杂决策过程中引入定量分析，充分利用决策者在两两比较中给出的偏好信息进行分析与决策支持，从而使决策过程具有很强的条理性和科学性。但是，在层次分析法的使用中，建立层次结构和构造判断矩阵时，人的主观因素对评价结果影响较大，一旦判断失误即造成决策的失误。

灰色关联分析法[2]的优点在于它提供了一个相对客观的评价指标权重测度方法，能够最大限度地避免主观因素对评价结果所造成的误差。而且灰色关联分析法对数据要求不苛刻，可以解决数据量少、信息不完全情形下的测度问题。它的核心是计算关联度，关联度越大，说明比较序列与参考序列变化的态势越一致。通过灰色关联分析法得到的评价结果，不单单是一个得分排名，而是能从中得到比较综合、完整的信息，有利于找出评

作者简介：韩明亮（1963-），男，辽宁人，教授，硕士研究生导师，主要研究方向：航空运输系统工程，企业运营管理；王珺（1986-），女，陕西西安人，硕士，主要研究方向：航空运输系统工程

价对象的优缺点。

鉴于两种方法的优缺点，本文以 AHP 法计算出准则层中各评价指标权重，利用灰色关联分析法计算出灰色关联度。关联度的大小顺序就是各航材承修商评价的排名结果。

2　评价指标的选取

航空公司对航材承修商评价主要从成本、质量、周期和服务这四个方面着手。影响航空公司选择承修商的因素很多，依据航空公司对于承修商良好服务原则、质量保证原则、强竞争力原则等，结合多年来航空公司对承修商评价的实际经验，并参照评价指标选择的一般原则，最终将指标分为四大类，即成本指标、质量指标、周期指标以及服务指标。[3]

根据以上四类指标，选取相应的易于定量化的具体指标，并根据指标的代表性和独立性进行筛选，构建了航材承修商评价指标体系的层次结构图，如图 1 所示。

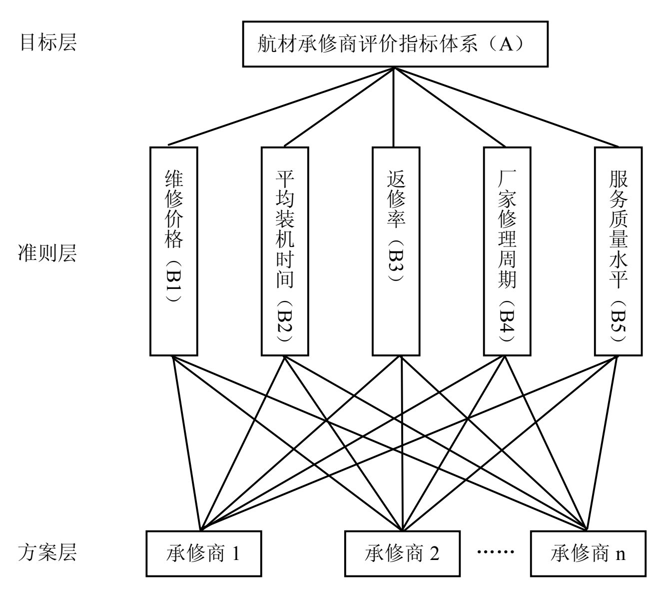


图 1　承修商评价指标体系的层次结构图

航材承修商评价指标体系中的重要指标定义及说明如下：

维修价格（B1）是指航空公司支付给承修商的航材维修费用，主要包括工时费和材料费，维修费用的高低取决于故障情况。该指标值应该是航材在同一维修级别下的价格，该指标直接影响航空公司成本的控制。

平均装机时间(B2)指航材经承修商维修后到再次送修所经历的装机使用时间，其中装机使用时间包括经过测试后又继续使用的时间，一般用飞行小时（FH）来表示。该指标直接反映了承修商在某件航材维修方面的能力，也是航空公司最为重视的指标。一般来说，修理质量高的装机时间长。目前航空公司都保留了可修件（特别是高价周转件）的维修历史记录，因此该指标值数据是可以统计的。

返修率（B3）指航空公司将维修后的航材装机使用过程中，发现没有达到合同要求，从而返还给承修商重新修理的次数占总送修次数的比率。航材返修会浪费大量人力和物力，因此该指标需要进行严格控制。

厂家修理周期（B4）指厂家收到日期到厂家发出日期，单位为天。厂家修理周期是航材周转时间的一部分，周转时间是指从故障件出库到修理回来的时间，单位为天，是全周期的概念，包括三段时间，即故障拆下到发运时间、车间处理周期、回程周期。周转时间直接决定故障器材周转的效率。

服务质量水平（B5）反映承修商在各方面的服务质量问题。其中索赔成功率反映修理厂的维修质量问题，技术服务水平体现在承修商对异议航材维修处理以及航线技术支援等方面，响应水平则体现在承修商对航空公

司请求处理是否灵活以及 AOG 维修方面。

其中 B1、B2、B3、B4 为定量指标，B5 为定性指标。

2.1 确定评价指标权重

建立层次结构后，邀请民航航材管理专家利用 1～9 标度法对准则层各评价指标进行两两比较，将定性判断定量化。本文通过问卷调查的形式采集相关信息，共邀请 5 位民航航材管理专家对准则层评价指标的相关重要程度进行打分。[4]

利用 5 位专家评判的分数构造判断矩阵，根据 AHP 相关知识可计算出各指标权重。以下根据 5 位专家打分情况计算准则层各指标对目标层的权重，如表 1 所示。

表 1 中准则层各指标对目标层的权重系数

权重	专家 1	专家 2	专家 3	专家 4	专家 5	平均值
B1	0.056	0.054	0.062	0.093	0.077	0.068
B2	0.372	0.416	0.400	0.421	0.315	0.385
B3	0.164	0.162	0.159	0.149	0.159	0.159
B4	0.283	0.266	0.274	0.266	0.378	0.293
B5	0.125	0.102	0.105	0.071	0.070	0.095

利用 AHP 软件计算可得到最大特征向量值 λ_{max} 、CI、RI 以及 CR。其中 CI 值越小（接近于 0），表明判断矩阵的一致性较好，CR<0.1 判断矩阵具有满意的一致性。通过计算得到 5 个小于 0.1CI 值，说明一致性检验通过。对得到的权重系数取算术平均值，得到待检模式向量 $X_i = (0.068\ \ 0.385\ \ 0.159\ \ 0.293\ \ 0.095)$ 。

2.2 评价指标的数据

本文针对某一件号，给出国内某航空公司待选承修商的评价指标有关数据，如表 2 所示。

表 2 国内某航空公司待选承修商的评价指标有关数据（针对某一件号而言）

评价指标	待选承修商		
	承修商 1	承修商 2	承修商 3
维修价格/元	6300	6800	6000
平均装机时间/FH	50 000	55 000	48 000
返修率	0.05	0.05	0.07
厂家修理周期	12	15	20
服务质量水平	好	一般	非常好

表 2 中的定性指标“服务质量水平”不利于计算，现按一般、好和非常好分别取 65、80 和 95，将定性指标白化为定量数据。

3 计算关联系数和关联度

3.1 评价指标数据的规范化处理

由于各评价指标之间存在量纲上的差异性，数据之间也不存在运算关系，现将上述评价指标进行规范化处理，将其化为[0，1]区间内的数，数据结果如表 3 所示。

表 3　规范化后的评价指标有关数据

评价指标	待选承修商		
	承修商 1	承修商 2	承修商 3
维修价格/元	0.926	1	0.882
平均装机时间/FH	0.909	1	0.873
返修率	0.714	0.714	1
厂家修理周期	0.6	0.75	1
服务质量水平	0.842	0.684	1

航材承修商评价体系中一共有 5 个评价指标，即 *i*=5；待评价承修商为 3 个，即 *n*=3，根据规范化后的数据构造承修商评价特征矩阵：

$$D_n(i)=\begin{Bmatrix}0.926 & 0.909 & 0.714 & 0.6 & 0.842\\ 1 & 1 & 0.714 & 0.75 & 0.684\\ 0.882 & 0.873 & 1 & 1 & 1\end{Bmatrix}$$

将各指标重要程度构成的待检模式向量 $X_i=(0.068\ \ 0.385\ \ 0.159\ \ 0.293\ \ 0.095)$ 进行规范化处理（按公式 $X_i=(\frac{x_i}{\max x_i})$），得到 $X_i=\left(0.177\ \ 1\ \ 0.413\ \ 0.761\ \ 0.247\right)$。

3.2　求绝对差矩阵

利用规范后的向量 X_i 和 $D_n(i)$ 求绝对差矩阵，按公式 $\Delta_{n(i)}=\left|X_i(i)-D_n(i)\right|$，i=1,2,…8;n=1,2,3 计算出差序列，将得到的数列构造成绝对差矩阵，得到如下矩阵：

$$\Delta_{n(i)}=\begin{Bmatrix}0.749 & 0.091 & 0.301 & 0.161 & 0.595\\ 0.823 & 0 & 0.301 & 0.011 & 0.437\\ 0.645 & 0.127 & 0.587 & 0.239 & 0.753\end{Bmatrix}$$

其中 $\max_1\Delta_1(i)=0.749$、$\max_2\Delta_2(i)=0.823$ 和 $\max_3\Delta_3(i)=0.753$，得到最大绝对差值 $\Delta_{\max}=0.823$，以及最小绝对差值 $\Delta_{\min}=0$。

3.3　计算灰色关联系数和关联度

以上的原始数据经过规范化处理后，关联系数可按下式计算：$\varepsilon_n(i)=\frac{\Delta_{\min}+\delta\Delta_{\max}}{\Delta_{n(i)}+\delta\Delta_{\max}}$，其中取 $\delta=0.5$，计算结果如表 4 所示。

表 4　关联系数和关联度

	B1	B2	B3	B4	B5	r_n
承修商 1	0.354	0.819	0.578	0.719	0.409	0.576
承修商 2	0.333	1	0.578	0.974	0.485	0.674
承修商 3	0.389	0.764	0.412	0.633	0.353	0.510

由于关联系数的数值比较多，信息过于分散，不便于比较。为使信息相对集中，可对关联系数求算术平均值，按此公式 $r_n=\frac{1}{m}\sum_{n=1}^{m}\varepsilon_n(i)$ 计算关联度。

关联度计算结果如下：承修商 1 的 $r_1=0.576$，承修商 2 的 $r_2=0.674$ 以及承修商 3 的 $r_3=0.510$，由此可得关联度大小为 $r_2>r_1>r_3$。该结果说明航材承修商 2 是航空公司选择的优选对象。从航材承修商 2 的关联系数值可以看出，该航材承修商在价格竞争中的优势明显低于其他两个承修商，但是在平均装机时间上的绝对优势

和其他指标的优势能够弥补维修价格的劣势。

4 结语

随着我国航空业竞争的加剧，不断攀升的运营成本已经严重影响了航空公司的利润水平，降低运营成本迫在眉睫。和国外航空公司相比，我国航空公司在维修成本占运营成本的比例较大。维修成本的管理与控制都是极为重要的，需要每一位航空管理人员和社会有识之士不断探索。只有这样，航空公司才能在降低成本的道路上取得优异成绩。[5]

目前，航空公司对航材承修商的评价还不够系统和规范。一旦主观经验在判断时出现失误，那么对于高风险的民航业来说是致命打击。鉴于此种原因，建立基于数学模型的航材承修商评价体对航空公司来说是非常必要的。将该评价体系融入公司管理系统中，利用日常管理中的实际数据得出评价结果，为航空公司选择最优航材承修商以降低运营成本提供决策支持。

本文针对在选择航材承修商时存在信息不充分的问题，提出了基于层次分析法和灰色关联分析法相结合的航材承修商评价模型。该模型减小了层次分析法带来的主观因素的影响，利用 AHP 软件计算出准则层中各评价指标的权重，将其作为灰色关联分析法的待检模式向量。文中并对各评价指标的数据进行规范化处理，方便利用灰色关联分析法计算出关联度。通过实例证明该模型是有效可行的。

参考文献

[1] 许树柏. 层次分析法原理[M]. 天津：天津大学出版社，1985

[2] 邓聚龙. 灰预测与灰决策[M]. 武汉：华中科技大学出版社，2002

[3] 杜栋，庞庆华，吴炎. 现代综合评价方法与案例精选[M]. 北京：清华大学出版社，2008

[4] 袁亦男. 基于 AHP/GRAP 的供应商选择研究[J]. 高科技产业技术与创新管理，2007，28(1)

[5] 贺明. 浅谈航空企业成本的控制[J]. 企业现代化，2007(16)

Application of GRAP Based on AHP in the Evaluation of Spare Parts Maintenance Suppliers

HAN Ming-liang , WANG Jun

(School of Economics and Management, Civil Aviation University of China，Tianjin，300300，China)

Abstract: The scientific and rational selection of spare parts maintenance suppliers is the foundation and guarantee of airlines normal operation, but also related to industry’s efficiency and competitiveness of enterprises. This article will integrate the methods of AHP and Grey Relational Analysis, establish a model of evaluating the spare parts maintenance suppliers. By using AHP software to calculate the layer of evaluation index weighs, and using the method of Grey Relational Analysis to calculate the degree of correlation. The order of degree of correlation is the evaluation of ranking results, with this airlines select optimal one. Using an example to illustrate this comprehensive evaluation method is feasible and scientific.

Keywords: Analytic hierarchy process; Grey relational analysis; Evaluation of spare parts maintenance suppliers

基于模糊综合评价的航空公司改善航班延误程度的研究

韩明亮　王青勇

（中国民航大学经济与管理学院，天津　300300）

摘　要：为准确评价航空公司改善航班延误的程度，提出了多级模糊综合评价方法，分析了国内航班延误的现状与主要原因，建立了航班延误评价指标体系，运用层次分析法确定各层次指标权重。确定指标模糊关系矩阵时，对要研究的航空公司的生产数据与行业内的最高水平和最低水平作比较，因此将评价方法与实际情况很好地结合在了一起。分析结果表明：多级模糊综合评价方法能够很好地解决评价指标与评价等级判定的模糊性问题，评价结果能够客观地反映航空公司改善航班延误的程度，航空公司可以根据评价结果认识到自身在处理航班延误方面的不足，同时，对延误敏感的旅客在选择航空公司航班时多了一种科学的评价依据。

关键词：航空公司；航班延误改善程度；多级模糊综合评价；层次分析法

0　引言

航班正常率是反映航空运输系统运行质量和服务水平的重要指标，对航空公司改善航班延误的程度进行准确评价可以使航空公司认清自身在处理航班问题上的不足，不断提高自身的经营管理水平。目前国外关于航班延误的研究多集中于三个视角：航班延误的原因及理论解释、航班延误后的恢复方案及模型研究、航班延误的立法分析[1-6]，这些研究为航班延误治理奠定了基础。国内的相关研究主要集中于介绍国外尤其是美国和欧盟两地应对航班延误的经验和相关延误处理法规[7-10]，但更深层次的或可操作性的研究论文尚不多。以上都是针对延误事件本身进行全方位的研究，本文从航空公司的角度出发，考虑如何对航空公司改善航班延误的程度进行科学评价，建立适宜的评价指标体系，并提出一套切实可行的评价方法，对明确航空公司对延误航班要承担的责任和旅客选择航班都有非常重要的意义。

本文在分析航班延误原因以及国内航班延误现状的基础上，设计并筛选出能够全面反映航班延误的评价指标体系，提出航空公司可改善航班延误程度的多级模糊综合评价方法，并对国内两家航空公司 A、B 的实际运行情况进行了评价。航空公司可以根据评价结果认识到自身在处理航班延误方面的不足，同时，旅客在选择航空公司航班时也多了一种科学的选择依据。

1　我国航班延误现状分析及航班延误评价指标体系的确定

1.1　我国航班延误现状分析

进入新世纪以后，我国航班数量和客货运输量每年以 20%左右的速度快速增长，航班正常工作总体水平也呈稳步上升态势，航班正常率已从 2000 年的 77.42%上升到 2010 年第一季度的 76.50%，在世界上处于中等偏上水平。但随着我国航班数量的急剧增加，航班延误的绝对数量却在不断攀升，从 2000 年的 14.27 万架次增加到 2010 年仅第一季度的 10.06 万架次，航班延误不可避免地成为航空公司和旅客之间矛盾的焦点。国内针对航班延误的纠纷也层出不穷，2004 年消费者对航空公司的投诉中，因航班不正常的投诉比例达到 51.5%。近几年

作者简介：韩明亮（1963-），男，辽宁人，北京航空航天大学工学硕士，教授，中国运筹学会会员、天津运筹学会会员，主要研究方向：航空运输系统工程，企业运营管理；王青勇（1986-），男，山东人，硕士，主要研究方向：航空运输系统工程

情况有所缓解，但仍是投诉比例最高的一种，2010 上半年仍达到了 34.57%。

现阶段，我国的航班延误情况主要有以下几个方面的特点：

（1）航班延误率有所下降，但延误的绝对数量不断上升

从表 1 以及图 1 可以看出，随着我国民航运输事业的发展，航班正常率水平逐年提高，航班延误率逐年递减。过去十年间，航班正常率由 2000 年的 75.9%增加到 2009 年第一季度的 82.99%。受“9·11”事件的影响，2002 年航班正常率达到 1978 年以来的最低点，仅为 73%。近四年，在航班总量大幅增加和空域资源紧张的情况下，航班正常率基本稳定在 80%以上。虽然航班延误情况有所改善，但不正常航班数量仍然不断增加，不正常航班所占比例仍然很高。

表 1　2000～2009 年（第一季度）我国航班延误情况

分类	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
全部航班	592 195	679 433	586 107	1 060 812	1 186 419	1 315 188	1 468 031	1 618 698	1 492 031	397 423
正常航班	449 476	527 240	427 858	846 528	948 012	1 080 401	1 197 848	1 345 596	1 232 011	329 803
不正常航班	142 719	152193	158 249	214 284	238 407	1 080 401	270 183	273 102	260 020	67 620
航班正常率（%）	75.9	77.6	73.0	79.8	79.9	82.1	81.59	83.12	82.57	82.99

数据来源：《从统计看民航》（2001～2008 年）和《中国民航统计年鉴（2001～2008）》，以及“民航 2009 年第一季度三率情况”通报。

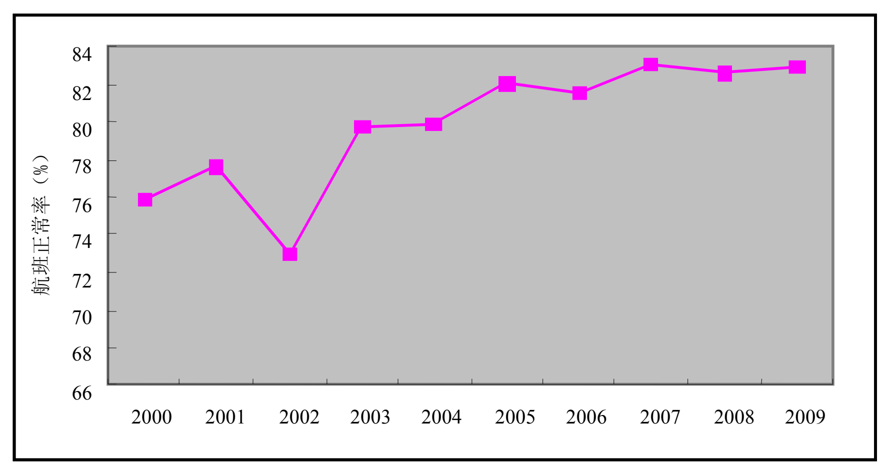


图 1　2000～2009 年（第一季度）我国航班正常率情况

（2）对航班不正常的投诉居高不下

从 2004 年开始，民航总局每月对消费者投诉进行汇总，归纳分析其中的热点、难点问题，每季度向社会公布航空公司的航班正常率、消费者投诉和行李、货物差错率，为消费者选择航空公司提供参考，如表 2 所示。

表 2　2004-2009 年(第一季度)旅客对航空公司的投诉情况

时间	2004	2005	2006	2007	2008	2009
有效投诉总数	499	364	320	255	401	110
航班不正常的投诉	257	211	163	104	130	21
所占比例	51.50	57.97	50.94	40.78	32.42	19.09

数据来源：《从统计看民航》（2005～2008 年）以及“民航 2009 年第一季度三率情况”通报

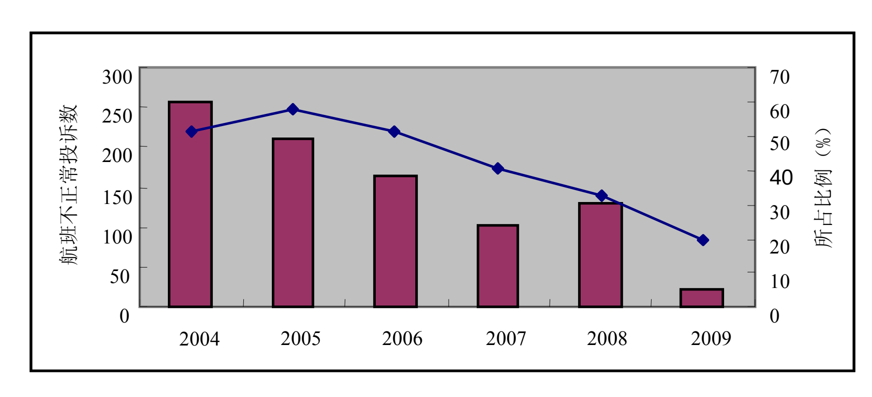


图 2　2004～2009（第一季度）年旅客对航空公司的投诉情况

由上表可以发现，近年来，民航旅客投诉数量逐年下降，2009 年的有效投诉数量比 2004 年下降约 20%，但关于航班不正常投诉的比例仍旧很高。

从上面的分析可以看出，我国航班延误问题已经得到了很大程度的改善，但延误总量仍然很大，带来了大量的负面效应，严重影响了航空运输系统的运行效率、经济效益以及社会声誉，进而影响了航空公司、旅客等各方面的利益，成为亟待解决的难题。

1.2　航班延误评价指标体系的确定

造成航班延误的原因大致可以分为四大类：（1）航空公司原因；（2）空中交通管制原因；（3）机场保障原因；（4）其他原因，包括天气原因、旅客原因等。从 2000～2008 年，由于以上几种原因引起的航班延误比例统计如表 3 所示。

表 3　2000～2008 年我国航班延误各种原因统计　单位：%

时间	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
航空公司	73.5	75.9	77.5	79.0	70.9	65.7	44.2	45.9	45.82
天气	8.9	8.9	8.4	6.9	8.0	9.7	19.9	19.7	22.31
机场	1.7	1.4	1.6	2.6	3.0	3.1	2.0	0.9	2.35
空管	10.4	10.0	6.6	5.4	14.1	18.4	23.8	24.9	21.64
旅客	3.3	2.6	2.6	2.8	4.0	3.1	2.4	1.8	2.54
其他	2.2	1.2	3.3	3.3	0.020	0.016	7.8	6.8	5.34

数据来源：《从统计看民航》（2001～2008 年）以及“民航 2008 年全年三率情况”通报

根据以上对航班延误情况的分析，借鉴国内外已有的研究成果，本着科学性、系统性、可操作性和可比性的原则，本文建立的航班延误评价指标体系为二级评价指标体系，如表 4 所示。

表 4　航班延误评价指标体系

<table>
<tr><th>目标层</th><th>准则层</th><th>指标层</th></tr>
<tr><td rowspan="11">航班延误 U</td><td rowspan="3">空管U_1</td><td>流量控制U_{11}</td></tr>
<tr><td>空中交通管制U_{12}</td></tr>
<tr><td>天气预报U_{13}</td></tr>
<tr><td rowspan="2">机场管理U_2</td><td>地面服务U_{21}</td></tr>
<tr><td>机场设施故障U_{22}</td></tr>
<tr><td rowspan="3">航空公司U_3</td><td>机票超售U_{31}</td></tr>
<tr><td>航班计划U_{32}</td></tr>
<tr><td>飞机故障U_{33}</td></tr>
<tr><td rowspan="3">其他延误U_4</td><td>顾客原因U_{41}</td></tr>
<tr><td>处理突发事件U_{42}</td></tr>
<tr><td>天气状况U_{43}</td></tr>
</table>

2　航空公司改善航班延误程度研究

因为航班延误涉及的主观评价较多，例如规模不同的航空公司对延误的接受程度也不相同，模糊综合评价适合多因素、复杂的综合评价问题，因此，本文建立的航空公司可改善航班延误程度评估模型采用模糊综合评价方法。

以下结合 A、B 两家国内航空公司 2009 年上半年的航班延误情况的统计数据，采用模糊综合评价方法对其可改善航班延误程度进行了评估。

2.1　确定评判因素集U

根据航班延误指标对给定的因素集合 U 进行划分：

第一层因素：

U=｛U_1，U_2，U_3，U_4｝=｛空管，机场管理，航空公司，其他延误｝。

第二层因素：

U_1=｛U_{11}，U_{12}，U_{13}｝=｛流量控制，空中交通管制，天气预报｝；

U_2=｛U_{21}，U_{22}｝=｛地面服务，机场设施故障｝；

U_1=｛U_{31}，U_{32}，U_{33}｝=｛机票超售，航班计划，飞机故障｝；

U_1=｛U_{41}，U_{42}，U_{43}｝=｛顾客原因，处理突发事件，天气状况｝。

2.2　计算各因素的权重

要对航空公司改善航班延误的程度进行总体评价，就必须正确地对航班延误评价指标体系的各指标赋予权重。本文运用层次分析法（The Analytic Hierarchy Process，简称 AHP）确定各级指标权重。根据评价指标的层次关系，设计专家咨询表，请专家对各层次的所有指标间的相对重要程度打分，且在规定的时间内收回 20 份调查表。分别对各分调查表进行计算，根据表中判断矩阵，经计算可以分别得到其特征向量，通过一致性检验后，可确定每个专家给出的各指标的权重。最后将所有专家确定的权重归一化，最终得到指标层与准则层的权重，如表 5 所示。

表 5　评价指标体系权重

准则层	准则层权重	指标层	指标层权重
空管U_1	0.3924	流量控制U_{11}	0.6633
		空中交通管制U_{12}	0.1244
		天气预报U_{13}	0.2133
机场管理U_2	0.2298	地面服务U_{21}	0.7328
		机场设施故障U_{22}	0.2672
航空公司U_3	0.2612	机票超售U_{31}	0.3314
		航班计划U_{32}	0.4516
		飞机故障U_{33}	0.2170
其他延误U_4	0.1166	顾客原因U_{41}	0.3078
		处理突发事件U_{42}	0.1853
		天气状况U_{43}	0.5069

2.3　建立各因素的评判集V

根据航班的运行方式，为了使对航空公司可改善航班延误程度的评价简单直观，确定因素U的量值为：

V={V_1，V_2}={高，低}。

下面分别就国内两家航空公司A和B的 2009 年上半年的航班延误情况进行分析和评价，评价时以国内航班正常率前 9 位的航空公司作为参照物，计算出（X_i–X_{min}）/(X_{max}–X_{min})，其中，X_i代表航空公司A或B在某一指标下的航班延误数，X_{min}代表在该指标下国内航班正常率前 9 位的航空公司延误数最小值，X_{max}代表延误数最大值，用这一比值表示航空公司在该指标方面改善航班延误的程度。

针对A、B航空公司，经计算可得U_1的评价矩阵（模糊关系矩阵），分别为

$$R_{1A}=\begin{bmatrix}0.8704 & 0.1296\\0.1566 & 0.8434\\0.2296 & 0.7704\end{bmatrix} \qquad R_{1B}=\begin{bmatrix}0.5705 & 0.4235\\0.5503 & 0.4497\\0.2443 & 0.7557\end{bmatrix}$$

对指标U_1进行一级综合评价，由一级指标U_1的各二级指标权重为

$$W_1=（0.6633，0.1244，0.2123）$$

则对指标U_1的评价(下标A代表A航空公司，下标B代表B航空公司):

$$B_{1A}=W_1*R_{1A}=(0.6448,0.3552)$$

$$B_{1B}=W_1*R_{1B}=(0.4980,0.5020)$$

依次类推，可得出对其他 3 个一级指标的综合评价为

$$B_{2A}=(0.0498,0.9502)，B_{2B}=(0.6534,0.3466)；$$

$$B_{3A}=(0.6172,0.3828)，B_{3B}=(0.6972,0.3028)；$$

$$B_{4A}=(0.0553,0.9447)，B_{4B}=(0.1086,0.8914)；$$

然后对航班延误进行二级综合评价，即对航空公司改善航班延误程度进行研究。由各一级指标的权重为W=(0.3924,0.2298,0.2612,0.1166)，又

$$R_A=\begin{bmatrix}B_{1A}\\B_{2A}\\B_{3A}\\B_{4A}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}0.6448 & 0.3552\\0.0498 & 0.9502\\0.6172 & 0.3828\\0.0553 & 0.9447\end{bmatrix}；R_B=\begin{bmatrix}B_{1B}\\B_{2B}\\B_{3B}\\B_{4B}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}0.4980 & 0.5020\\0.6534 & 0.3466\\0.6972 & 0.3028\\0.1086 & 0.8914\end{bmatrix}$$

经合成运算得到模糊综合评价结果：

$$A= W* R_A=（0.4321，0.5679）；$$

$$B= W* R_B=（0.5277，0.3684）。$$

2.4 模糊综合评价结果分析

依据最大隶属度原则，A 航空公司 2009 年上半年航班延误可改善程度为 0.5679，B 航空公司 2009 年上半年航班延误改善程度为 0.5277，即 A 航空公司需要改善的程度更高一些。

对比实际数据可发现，航空公司 A 和 B 航班延误总量相差无几，航空公司 A 比 B 的航班正常率要高，但计算结果显示，A 航空公司航班延误可改善的程度反而更高，这是什么原因？仔细比较不难发现，A 航空公司由于自身原因造成的延误占很大一部分，这就加大了其与行业内最高水平航空公司的差距，具有较高的提升空间。B 航空公司的航班延误很大一部分是由于其他原因，主要包括天气原因和旅客原因等，但由于这部分原因不能完全由航空公司掌握，因此，行业内这一方面的延误水平相差无几，可改善程度相对比较低。

3 结语

本文依据航空公司航班延误的主要原因，建立了航班延误评价指标体系，并运用模糊综合评价方法对航空公司航班延误改善程度进行评价，最后以国内两家航空公司为例进行实证研究，并对计算结果进行了对比分析。

通过分析表明，模糊综合评价方法运用到航空公司可改善航班延误程度问题的评价中，能够很好地解决评

价指标以及评价等级判定的模糊性问题，评价结果能够客观地反映航空公司在航班延误方面的优势与存在的薄弱环节。本文采用 AHP 确定各个指标的权重，通过向多位民航专家发放调查问卷，可以较大的提高各个指标权重的客观性，尽量减少了人为分配的主观性，但专家的选取在一定程度上仍会对评价结果产生影响；本文只对航空公司半年度的航班延误情况进行了评价，在实际运用的过程中，可以针对所评价的航空公司收集多个年度的数据，进行纵向比较，也可扩大样本范围，收集多个航空公司的数据进行横向比较，因此，本文的研究还有待于进一步的深入和完善。

参考文献

[1] Evans SW , et al . Benefits assessment of improved decisions for rerouting flights around flow constraintareas[A]. AIAA Guidance, Navigation and Control Conference and Exhibit [C] . Providence, RhodeIsland, 2004: 1-17

[2] Lan S, Clarke J P, Barnhart C. Planning for robust airline operations: optimizing aircraft routings andf light departure times to minimize passenger disruptions[J]. Transportation Science, 2006,40(1) :15-28

[3] Janic M. Modelling airport congestion charges [J] . T ransportation Planning and Technology, 2005, 28(1) : 1-26

[4] Jarrah A I Z, Yu G, Krishnamurthy N,et al. A decision support framework for airline flight cancellations and delays[J]. Transportation Science, 1993, 27(3): 266-280

[5] Argüello MF, Bard J F, Yu G. A grasp for aircraft routing in response to groundings and delays[J]. Journal of CombinatorialOptimization, 1997, 5: 211-228

[6] V illemeur E B, et al . The social costs of air tragf icdelays[R]. Toulouse:U niversity Toulouse, 2005: 1-49

[7] 张哲. 关于航班延误的起因与对策[J]. 空运商务，2006(28)

[8] 张薇. 改善航班延误的对策与思考[J]. 空运商务，2007(2)

[9] 刘光才, 李章萍等. 美国航班时刻市场化配置最新进展及启示[J]. 中国民用航空, 2009

[10] 胡晓江，肖练军．美国的航班延误统计管理及启示[J]. 综合运输, 2007 (8): 77-79

[11] 李雄，刘光才等．航班延误引发的航空公司及旅客经济损失[J]．系统工程, 2007, (12)

[12] 石丽娜. 多等级模糊综合评价方法在航班延误中的应用[J]. 上海工程技术大学学报，2006，20(3): 276-279

[13] 姚韵，朱金福. 基于可拓权重的航班延误服务旅客满意度多级模糊评价模型[J]．商业研究，2007, 363(7): 199-201

[14] 马正平，崔德光. 机场航班延误优化模型[J]. 清华大学学报（自然科学版）, 2004, 44(4): 474-477

Study on the extent of flight delay for airlines to improve based on multilevel-fuzzy comprehensive evaluation method

Han Ming-liang, Wang Qing-yong

(School of Economics and Management, Civil Aviation University of China，Tianjin 300300，China)

Abstract: In order to evaluate the extent of flight delays for airlines to improve accurately, a multilevel-fuzzy

comprehensive evaluation method was proposed, the domestic status and the main reasons for flight delays were analyzed, and a evaluation index system of flight delay was built, in which the weights of evaluation indices were determined by analytic hierarchy process(AHP). In order to determine the fuzzy relationship matrix index, a comparision of the production data of airlines to study with the highest and the lowest level within the industry was made, thus the evaluation method with the actual situation will be very good together. Analysis result indicates that the system is reasonable, the method can resolve the fuzzinesses of evaluation indices and rating levels appropriately, the evaluation result can reflect the general extent of flight delays for airlines to improve. Based on the evaluation results, airlines can recognize their own insufficient in dealing with flight delays, at the same time, there will be one more scientific choice for passengers to choose when selecting flights.

Keywords: airlines; the extent of flight delays for airlines to improve; multilevel-fuzzycomprehensive evaluation; analytic hierarchy process(AHP)

民用汽车拥有量的预测模型
——基于重庆市民用汽车拥有量的实证分析

陈志光　梅洪常
（重庆工商大学管理学院　重庆　400067）

摘　要：目前关于汽车拥有量影响因素及预测模型的研究已经比较多，比如灰色系统模型、神经网络预测模型、组合预测模型等。本文对重庆市历年有关数据进行计量分析，从众多因素中得出影响重庆市民用汽车拥有量最直接的因素，进而建立重庆市民用汽车拥有量的计量预测模型，并预测未来 10 年内重庆市的民用汽车拥有量。

关键词：计量分析；民用汽车拥有量；预测模型

0　引言

汽车工业产业是现代工业发展的一个主要推动力，近几年来中国民用汽车的消费在迅速发展，在汽车整体消费中所占比例逐年上升，对汽车产业及其关联产业起着重要影响。汽车产业关联度很高，可以带动很多其他的产业部门的发展，如钢铁、橡胶、玻璃、电子和化工工业等。重庆的工业增加值占全市 GDP 的 40%左右，因此可以说第二产业是重庆最重要的一个产业，然而在工业中汽车占有很大比重，所以重庆的汽车工业已经发展到了一个非常重要的支撑局势，成为重庆的支柱产业，这也是重庆被称为“西部汽车城”的关键所在。目前对汽车市场的研究主要集中于整体需求或拥有量预测，对民用和私人汽车购买的针对性研究很少。汽车产业作为重庆经济发展中的支柱产业，对重庆经济走势的影响越来越大，而民用汽车消费在汽车市场所占比重逐年增大，汽车的私人消费也成为汽车市场发展最主要的拉动因素，对于民用汽车拥有量的研究预测有利于我们对重庆市宏观经济走势的判断，同时，汽车保有量预测也是重庆市道路交通规划及产业结构调整的必然要求。可以说，对重庆市民用汽车拥有量的预测研究有利于制定合理的重庆市汽车产业政策和经济政策。因此，对重庆市民用汽车拥有量的预测具有重要的现实意义。

1　民用汽车拥有量的影响因素分析及模型设定

在目前预测汽车拥有量的研究中，众多学者认为影响汽车拥有量的因素很多，因此在对汽车拥有量进行预测时选取的自变量不尽相同。韦保仁等人认为人均 GDP 和城市化率是预测汽车保有量的重要因素。程赐胜等人认为社会总产值、道路货运量、道路客运量、人口总数等因素是预测汽车保有量的重要考虑因素。杨东援等人认为市区人口、国内生产总值、人均国内生产总值、工业总产值、财政收入、居民年均生活费收入和居民年均生活费支出等因素是预测汽车保有量所需考虑的重要因素。吴泗宗和陈志超等人认为汽车总产量、人口总数、城镇居民人均可支配收入是预测汽车保有量的重要因素。

本文结合重庆市的特点，把全市 GDP 总量、城镇居民人均可支配收入、人口总数、汽车产量、公路货运

作者简介：陈志光(1988-)，男，广西扶绥人，重庆工商大学硕士研究生，主要研究方向：企业管理；梅洪常(1958-)，男，四川彭山人，重庆工商大学管理学院院长、教授、博士，主要研究方向：企业管理

量、公路客运量、人口总数、公路里程纳入考虑因素。按照市场营销的理论，消费市场必须同时具备三个要素：消费主体、购买力、购买欲望。以上因素中全市 GDP 总量、城镇居民人均可支配收入体现购买力，两者与汽车拥有量成正相关关系；人口总数对应消费主体，通常情况下人口总数与汽车拥有量成正相关关系；其他因素影响消费者的购买欲望，促进汽车的消费市场，同样与汽车拥有量成正相关关系。因此，初步设定的多元计量经济模型为：

$$Y = C_0 + C_1 \times X_1 + C_2 \times X_2 + \cdots + C_k \times X_k + U_t，\ k=1，2，\cdots 7$$

其中，Y 为民用汽车拥有量，X_1 为全市 GDP 总量、X_2 为城镇居民人均可支配收入、X_3 为人口总数、X_4 为汽车产量、X_5 为公路货运量、X_6 为公路客运量、X_7 为公路里程。其中 C_0、C_1、C_2、C_3、C_4、C_5、C_6、C_7 分别为待定常数项；U_t 为随机误差项，t 为年份。

2 数据处理及分析

本文使用 1990~2009 年间的有关数据，数据来源于 1991~2010 年重庆市统计年鉴。重庆市民用汽车拥有量、全市 GDP 总量、城镇居民人均可支配收入、人口总数、汽车产量、公路货运量、公路客运量、人口总数、公路里程的数据如表 1 所示（表中的显示省略了 1992~2007 年间的数据）。

表 1 1990~2009 年重庆市民用汽车拥有量及其各影响因素数据

年份	民用汽车拥有量（辆）	GDP 总量（亿元）	城镇居民人均可支配收入（元）	人口总数（万人）	汽车产量（万辆）	公路客运量（万人）	公路货运量（万吨）	公路里程（km）
t	Y	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
1990	59 773	327.75	477.0	2920.90	2.18	11 555.5	9645.5	21 162
1991	68 899	374.18	533.6	2938.99	3.04	16 172.0	10 050.0	21 474
……	……	……	……	……	……	……	……	……
……	……	……	……	……	……	……	……	……
……	……	……	……	……	……	……	……	……
2008	769 110	5793.66	4430.7	3257.05	76.64	102 680.0	54 589.0	108 632
2009	941 544	6530.01	4848.8	3275.61	118.65	110 150.0	58 532.0	110 951

资料来源: 1991~2010 年重庆市统计年鉴

2.1 相关关系检验

首先通过计算 Pearson 值来判断 Y 与 X_1、X_2、X_3、X_4、X_5、X_6、X_7 的相关关系，通过计算得出民用汽车拥有量 Y 与 X_1、X_2、X_3、X_4、X_5、X_6、X_7 的 Pearson 系数均超过 0.925，说明存在显著的正相关关系。但在建模过程中还要考虑到各个解释变量之间的相关性。

2.2 平稳性检验

经典的回归模型是建立在统计数据时间序列是平稳的假设上的，对于不平稳的时间序列回归，有可能发生“伪回归”现象，模型不能正确反映变量间的真实关系。Engle 和 Granger(1987)提出的协整(cointegration)理论可以很好地解决上述问题，是近年来处理非平稳时间序列之间长期均衡关系和短期波动的有力工具。在此采用 Engle—Granger 两步法。首先对变量进行 ADF 检验，以确定序列的平稳性和单整阶数。经过 ADF 检验，民用汽车拥有量和全市 GDP 总量、城镇居民人均可支配收入、全市人口总数、汽车产量、公路客运量、公路货运量及公路里程均为二阶单整，即 Y、X_1、X_2、X_3、X_4、X_5、X_6、X_7 均为 I(2)序列。考察变量之间存在的长期稳定的均衡关系，建立变量间的计量经济模型得：

$$Y = C_0 + C_1 \times X_1 + C_2 \times X_2 + C_3 \times X_3 + C_4 \times X_4 + C_5 \times X_5 + C_6 \times X_6 + C_7 \times X_7 + U_t \quad (1)$$

利用 eviews 软件得到的统计数据如表 2 所示。

表 2　计量经济模型估计结果及统计量

Variable		t-Statistic	Prob.
C		-1.722798	0.1106
X_1		1.842661	0.0902
X_2		-1.584918	0.1390
X_3		1.752738	0.1051
X_4		3.416535	0.0051
X_5		-0.909304	0.3811
X_6		0.150871	0.8826
X_7		4.277835	0.0011
R -squared	0.997708	F-Statistic	746.3033
Adjusted R -squared	0.996371	Prob(F-Statistic)	0.000000
Durbin -Watson stat	2.036573		

3　模型检验及修正

初步建立的计量经济模型会由于数据本身的性质或模型中变量的因果关系不明等原因不符合要求，因此需要对模型进行检验和修正。

3.1　协整关系检验

协整关系表示一系列非平稳变量之间的共同变化，其经济意义在于：两个或多个变量虽然具有各自的长期波动规律，但如果是协整的，则它们之间存在着一个长期稳定的比例关系。协整性的检验有两种方法：一种是基于回归残差的协整检验，也称为单一方程的协整检验；另一种是基于回归系数的完全信息协整检验。本文用单一方程协整检验法检验不平稳序列 Y、X_1、X_2、X_3、X_4、X_5、X_6、X_7 是否具有协整关系，即变量之间是否存在一种长期的均衡关系。对残差进行单位根检验，从 ADF 检验单位根的结果看，在 1%、5%、10%三个显著性水平下，单位根检验的 Mackinnon 临界值分别为−2.2692358、−1.960171、−1.607051，t 检验统计量值为−4.323777，均小于相应临界值，从而拒绝残差序列存在单位根的假设，表明残差序列是平稳的，即 Y、X_1、X_2、X_3、X_4、X_5、X_6、X_7 存在协整关系。

3.2　多重共线性检验

由表 2 可知，该模型 $R^2 = 0.997708$，$\overline{R}^2 = 0.996371$，可决系数很高，F 检验值 746.3033，明显显著；但 X_1、X_2、X_3、X_5、X_6 系数的 t 检验不显著，而且 X_2、X_5 系数的符号与预期相反，这表明模型中很可能存在严重的多重共线性。

利用方差扩大（膨胀）因子法检查多重共线性。对于多元线性回归模型来说，如果分别以每个解释变量为解释变量，做对其他解释变量的回归，称为辅助回归。以 X_j 为解释变量做对其他解释变量辅助线性回归的可决系数，用 R_j 表示，则解释变量 X_j 参数估计量 $\hat{\beta}_j$ 的方差可表示为：$Var(\hat{\beta}_j) = \frac{\sigma^2}{\sum x_j^2} \frac{1}{1-R_j^2} = \frac{\sigma^2}{\sum x_j^2} VIF_j$。

其中 VIF_j 是 X_j 的方差扩大因子，即 $VIF_j = \frac{1}{1-R_j^2}$。由于 R_j^2 度量了 X_j 与其他变量的线性相关程度，这种

相关程度越强，说明变量间多重共线性越严重，VIF_j 也就越大。反之，X_j 与其他变量的线性相关程度越弱，说明变量之间的多重共线性越弱，VIF_j 也就越接近于 1。

为了明确模型是否存在多重共线性，建立一个辅助回归方程，以解释变量 X_1 为被解释变量，其余解释变量为解释变量。辅助回归方程如下：

$X_1=\alpha_0+\alpha_2\times X_2+\cdots+\alpha_j\times X_j+U_t$，$j$ =2，3，…，7。利用 eviews 软件计算得 vifjzz 变量的值为 1288.0964，表明解释变量之间存在严重的多重共线性。严重的多重共线性影响了计量经济模型参数的估计值，对计量经济分析可能产生一系列不良的影响。

3.2.1　修正多重共线性

采用逐步回归法去解决严重的多重共线性问题。分别做 Y 对 X_1、X_2、X_3、X_4、X_5、X_6、X_7 的一元线性回归。其中，加入 X_1 的方程的 $\overline{R}^2$ =0.9818 最大，且参数的 t 检验显著。以 X_1 为基础，顺序加入其他变量逐步回归。经比较，加入 X_6 时方程的 $\overline{R}^2$ =0.9920，改进最大，但是 X_6 参数为负值不合理，排除 X_6 之后，加入 X_7 方程的 $\overline{R}^2$ =0.9913，改进最大，X_1、X_7 参数的 t 检验均显著，选择保留 X_7，再加入其他新变量逐步回归。在 X_1、X_7 的基础上加入 X_4 后方程的 $\overline{R}^2$ =0.9963，改进最大，而且各个参数 t 检验都显著。选择保留 X_4，在加入其他新变量逐步回归。在 X_1、X_7、X_4 的基础上加入 X_2 后 $\overline{R}^2$ 下降，X_1、X_2 参数的 t 检验不显著。加入 X_3 后 $\overline{R}^2$ 没有改变，X_1、X_3 参数的 t 检验不显著。加入 X_5 后 $\overline{R}^2$ 下降，X_5 参数的 t 检验不显著，而且参数为负值不合理。加入 X_6 后 $\overline{R}^2$ 没有改善，X_6 参数的 t 检验不显著，而且参数为负值不合理。说明 X_2、X_3、X_5、X_6 引起严重多重共线性，应予剔除。最后修正严重多重共线性影响的回归结果为：

$$\hat{Y}_t=-15853.2359+53.0483\times X_1+2.2138\times X_7+3138.3560\times X_4 \cdots\cdots （2）$$

Eviews 软件得到的统计数据如表 3 所示。

表 3　计量经济模型估计结果及统计量

变量	函数	标准差	t-检验	概率
C	–15853.2359	6870.875	–2.307310	0.0347
X_1	53.0483	13.14188	4.036586	0.0010
X_4	2.2138	0.269894	8.202395	0.0000
X_7	3138.3560	642.5877	4.883934	0.0002
R^2	0.996888	Mean dependent var		305944.0
调整的R^2	0.996305	S.D. dependent var		259314.7
回归标准差	15763.18	Akaike　info criterion		22.34560
残差平方和	3.98E+09	Schwarz criterion		22.54474
对数似然值	–219.4560	F-Statistic		1708.621
Durbin –Watson 检验	1.724730	Prob(F-Statistic)		0.000000

对残差进行单位根检验，从 ADF 检验单位根的结果看，在 1%、5%、10%三个显著性水平下，单位根检验的 Mackinnon 临界值分别为–2.2692358、–1.960171、–1.607051，t 检验统计量值为–3.707327，均小于相应临界值，从而拒绝残差序列存在单位根的假设，表明残差序列是平稳的，即模型中的民用汽车拥有量和全市 GDP 总量、汽车产量及公路里程之间存在协整关系。

3.3　自相关性检验

DW 检验是 J.Durbin 和 G.S.Waton 于 1951 年提出的检验自相关的方法。*DW* 检验过程如下，首先构造 *DW*

统计量：$DW=\dfrac{\sum_{t=2}^{n}(e_t-e_{t-1})^2}{\sum_{t-1}^{n}e^2{}_t}$，计算模型的残差 e_t，而残差的自相关系数为：$\hat{\rho}\approx\dfrac{\sum_{t=2}^{n}e_te_{t=1}}{\sum_{t=1}^{n}e^2{}_t}$，因此有 $DW\approx2(1-\hat{\rho})$，所以可以通过 DW 的值判断自相关性。从表 3 中可以得到 DW=1.725，而当 n=20，$k^{'}=3$ 时，查 DW 分布表得：du=0.998，4-du=2.324，即 du<DW<4-du，表明模型（2）不存在自相关性。

3.4 异方差性检验

恩格尔（Engel）于 1982 年提出了在时间序列背景下也有可能出现异方差性，并从理论上提出了一种观测时间序列方差变动的方法，即 ARCH 检验方法。ARCH 检验的思想是，在时间序列数据中，可认为存在的异方差性为 ARCH（自回归条件异方差）过程，并通过检验这一过程是否成立去判断时间序列是否存在异方差。设 ARCH 过程为

$\sigma^2{}_t=\alpha_0+\alpha_1\sigma^2{}_{t-1}+\cdots+\alpha_p\sigma^2{}_{t-p}+v_t$，其中，$p$ 为 ARCH 过程阶数，$\alpha_0\rangle0$，$\alpha_i\geqslant0$，（$i=1,2,\cdots p$）；v_t 为随机误差。H_0：$\sigma_0=\alpha_1=\cdots=\alpha_p=0$；求出模型的残差 e_t，并计算残差平方序列 $e^2{}_t$，$e^2{}_{t-1}$，…，$e^2{}_{t-p}$，分别作为对 $\sigma^2{}_t$，$\sigma^2{}_{t-1}$，…，$\sigma^2{}_{t-p}$ 的估计。做辅助回归：$\hat{e}_t^2=\hat{\alpha}_0+\hat{\alpha}_1e_{t-1}{}^2+\cdots+\hat{\alpha}_pe_{t-p}$。计算该辅助方程的可决系数 R^2，如果 $n\times R^2\rangle\chi_\alpha(p)$，则拒绝并 H_0，表明模型不存在异方差性。ARCH 检验的结果如表 4 所示，可见模型（2）不存在异方差性。

表 4　ARCH 检验

		概率值（P 值）
F 统计量	0.299126	0.591538
$n\times R^2$	0.328537	0.566522

排除多重共线性、序列相关、异方差后最终得到的计量经济模型为：

$$\hat{Y}_t=-15853.2359+53.0483\times X_1+2.2138\times X_7+3138.3560\times X_4$$

（−2.3070）　（4.0366）　（8.2024）　（4.8839）

该模型各个变量之间存在协整关系。模型的拟合度为 0.996305，表明模型有良好的拟合度。由模型可知，在其他因素不变的情况下，重庆市全市 GDP 总量、公路里程和汽车产量分别增加 1 亿元、1km、1 万辆，重庆市的民用汽车拥有量将分别增加约 53 辆、2 辆和 3138 辆。

4　重庆市民用汽车拥有量预测

运用已经建立的计量经济模型预测重庆市民用汽车拥有量，首先是预测模型中自变量的值。利用 MATLAB 软件，建立以 X_1、X_4、X_7 为被解释变量，年份 t 为解释变量的回归方程。X_1、X_4 和年份 t 的拟合回归如图 1、图 2 所示。

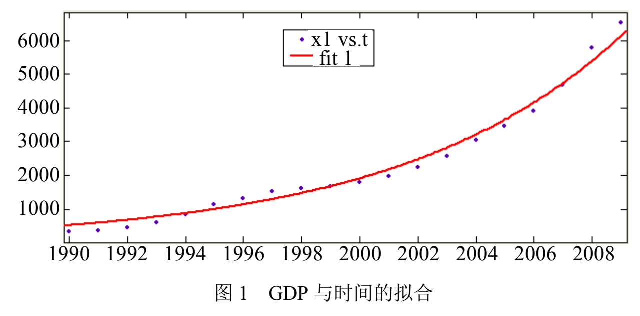


图 1　GDP 与时间的拟合

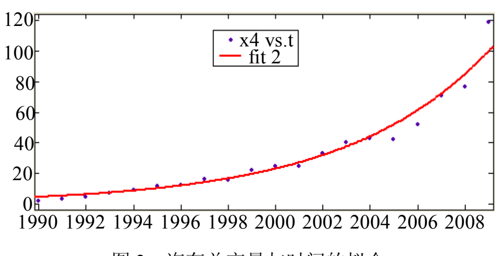


图 2　汽车总产量与时间的拟合

考虑到 2006 年起，重庆市对公路里程启用新的度量方式，同时 2005 年的公路里程也按同口径进行了调整，所以在做拟合时截取 2005～2009 年的数据，拟合效果如图 3 所示。

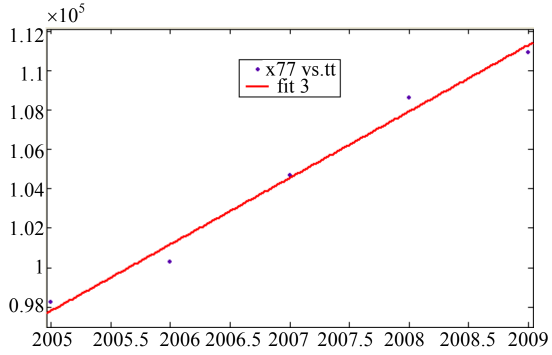


图 3　公路里程与时间的拟合

综上得到 X_1、X_4、X_7 关于年份 t 的回归方程如下：

$$\begin{cases} X_1 = 3.281\times 10^{-110} e^{0.1298t} \\ X_4 = 5.154\times 10^{-141} e^{0.1631t} \\ X_7 = -6.679\times 10^{6} + 3380t \end{cases}$$

调整的可决系数 $\overline{R}^2$ 分别为 0.98522、0.96146 和 0.9863，表明三条拟合曲线的拟合效果良好。预测 2011~2020 年重庆市民用汽车拥有量，$\hat{Y}_t = -15853.2359 + 53.0483\times X_1 + 2.2138\times X_7 + 3138.3560\times X_4$，t=2011,2012，…，2020。结果如表 5 所示。

从预测结果来看，2019 年重庆市民用汽车拥有量将突破三百万辆，未来 10 年间的年平均增长率约为 13.91%。考虑到现在的汽车不是以清洁能源为主，汽车尾气造成的环境污染以及道路堵塞问题越来越受到人们的关注，在汽车拥有量达到一定程度后环保节能等压力将会致使汽车消费受到阻碍，所以重庆市实际的民用汽车拥有量有可能会比模型预测的值要低一些。

表 5　2011～2020 年重庆民用汽车拥有量的预测值

年份	X_1	X_4	X_7	Y 的预测值
2011	7972.51	138.785	118 081	1 104 003
2012	9077.74	163.396	121 460	1 247 348
2013	10 336.2	192.307	124 840	1 412 317
2014	11 769.1	226.37	128 220	1 602 708
2015	13 400.7	266.486	131 600	1 822 635
2015	15 258.4	313.668	134 980	2 076 731
2017	17 373.7	369.229	138 360	2 370 787

（续表）

年份	X_1	X_4	X_7	Y的预测值
2018	19 782.2	434.632	141 740	2 711 284
2019	22 524.6	511.62	145 120	3 105 849
2020	25 647.2	602.245	148 500	3 563 380

5 结论

本文通过计量分析的相关理论确定重庆市民用汽车拥有量的直接影响因素为全市 GDP 总量、汽车产量、公路里程，并利用得到的计量经济模型预测了未来 10 年重庆市的民用汽车拥有量。由于无法获取重庆市汽车价格和石油价格等因素的相关数据，故在模型建立过程中舍去了这些因素。虽然计量经济模型和以往常见的回归模型一样，都是使用最小二乘法进行回归计算，但是计量经济模型有着严格的基本假定作为基础，变量的因果确定及回归模型的检验经过了严格检验，而且在模型确定的过程中需要经过多种方法的修正，使得最后预测的依据充分。

由表 5 的数据可知，未来 10 年重庆市的民用汽车拥有量稳步增长，2020 年重庆市民用汽车拥有量将达到 3 563 380 辆，重庆市汽车市场具备一个巨大的需求空间。重庆市应继续将汽车工业放在优先发展的战略位置，做好公路交通、能源供给及尾气污染治理相关配套设施建设。制定产业优化政策、联合重组政策等使汽车企业的组织结构达到布局合理；实行汽车产品质量纠纷举证责任倒置制度，由汽车制造商和销售商证明汽车产品合格，避免因汽车大规模制造的增加导致的质量下降；加强消费者权益保护立法，侧重处理好汽车企业和消费者之间不平等的地位，保障汽车需求稳步健康的增长，发挥汽车工业带动全市经济增长的作用。

参考文献

[1] ABU-EISHEH A SAMEER，FRED LMANNERING. Fore-castingAutomobile Demand for Economies in Transition: ADynamic Simultaneous-equation System Approach [J].Transportation Planning & Technology，2002，25 (4)：311-331

[2] 开利，邓春晖. MATLAB基础及其应用教程[M]. 北京：北京大学出版社，2007

[3] 韩林. 我国汽车工业发展走势及对策[J]. 经济观察，2005(4)：1-3

[4] 韩颖，潘志刚. 汽车工业对其关联产业的带动效用分析[J].中国软科学，2005(6)：139-143

[5] 古继宝，亓芳芳，吴剑琳. 基于 Gompertz 模型的中国民用汽车保有量预测[J]. 技术经济，2010，29（1）：57-62.

[6] 龙晓柏. 我国汽车产业增长波动的因素及趋势研究[J]. 山西财经大学学报，2005，27（5）：83-87

[7] 李阳. 影响我国私家车拥有量的因素分析[J]. 消费导刊，2008(4)：8-9

[8] 马超群，赵海龙. 汽车市场需求预测建模及其应用研究[J]. 湖南大学学报（社会科学版），2009，23（4）：38-44

[9] 庞皓. 计量经济学[M]. 北京：科学出版社，2008

[10] 孙高昂，李倩. 中国城镇居民家用汽车市场扩散研究[J]. 西安电子科技大学学报（社会科学版），2010，20（1）：17-22

[11] 邵世风. 影响我国家用汽车消费的主要因素[J]. 统计与决策，2003(8)：74-75

Forecasting Model of Civil Automobile Ownership —Empirical Analysis Based on the Chongqing's Civil Automobile ownership

CHEN Zhi-guang，MEI Hong-chang
(Chongqing Technology and Business University，Chongqing 400067，China)

Abstract: At present, reseaches about the influencing factors and prediction model of car's possessing have been numerous, such as the Gray System Model and Neural Network Predictive Model, Combination Forecast Model ,etc. The article analyzes the correlative data of Chongqing in the recent years in a econometric sense. It concludes the most directing factors affecting the civil automobile possessing in Chongqing from numerous factors, then builds econometric prediction model of civil automobile possessing of Chongqing and predicts it in 10 years.

Keywords: quantitative analysis; civil automobile possessing; prediction model

The development of SME industrial Cluster of China

Qiao Lu
(School of Management, China University of Mining & Technology, P.R. China, 221116)

Abstract: With the continuous development of the small and medium enterprises' influence and roles in the national economy, those theory achievements which focus on pushing forward the development of the small and medium enterprises are becoming more plentiful, and so as those policies which are becoming more perfect. However, nowadays all the close attention is only paid on the traditional manufactured enterprises, hi-tech enterprises and service enterprises and so on. And for those centre-small ones there are no direct theory study and policy support. The formation and development of the small and medium enterprises cluster can help the industry change the economic developing manner. As an effective production organization, the development of the enterprises cluster is the objective requirement of scale and intensive management of the industrial at the present.

Keywords: Industrial cluster; Development; SME small and medium enterprises

I. The significance of the development of the Small and medium enterprises cluster

The industrial in our county must achieve the goal that the extensive mode of economic growth which is simply based on the great mount and large scale must change to the intensive growth which is the result of the high quality and efficiency. And as a result we need those related small and medium enterprises to get together in a same region and to display their coordination effect, scale efficiency and self-reinforcing mechanism in order to improve their macro-efficiency as well as micro-efficiency. From the respect of the industrial structure, the development of the centre-small cluster will promote the industrial structure and expand the proportion of the third industry in the national economy; and from the respect of the organization structure, it can strengthen the overall attractiveness and competition of the industrial and promote the economic operating quality by ways of perfecting the competition and coordination of the enterprises.

II. The problems existing in the developing process of the Small and medium enterprises

Comparing with other small and medium enterprises the Small and medium enterprises have the same problems as well as other unique and special contradiction. If the problems and their inner mechanism cannot be handled objectively and correctly, the enterprise cluster will not have a healthy development. And nowadays the major problems existing in the development of the small and medium enterprises cluster are:

(1) The deficiency of the policy and unclarity of the development

For the small and medium enterprises in the scope of industrial, they have the character of universality which other enterprises do not process, and they are in a market which has the scale requirement. And all of the characteristics decide the inborn cluster survival mode of the small and medium enterprises which can be an actual pattern needs the support and guidance of the government policy. However in the practice of the industrial development the government fails to provide the efficient policy and potent supervision due to the lacking of the cognition and study of the function

of those enterprises. And as a result, the government used to pay more attention to the gathering of the Small and medium enterprises in the aspect of quantity and region but ignore the cultivation of the industrial chain, or the government likes to build the professional markets and parks instead of digging and educating the scale economy and external economy among the economies. Although this kind of policy make the small and medium enterprises have the form of cluster development, they cannot achieve the inner economic function of the industry clusters and will lose the internal vitality of the sustainable development.

(2) Unreasonable market structure and imperfect market mechanism

Comparing with the market environment which the other small and medium enterprises have, the market structure of the industrial of our country is unreasonable, and the problem of the unreasonable market mechanism is becoming more and more serious. Just as what we have said, the universality of the product and scale of the culture market decide the market structure of the industrial must be the competitive market structure. And at the present, our management system determine that the industrial still remain the stage of “limited open”, and the market structure has the characteristic of the coexisting of the administrative of monopoly and excessive competition, and the unified market has not formed. And correspondingly, the different links in the whole chain have different market structure, some are in the mode of the administrative monopoly and some are in the mode that most small and medium enterprises are full competing. The monopoly link is seriously separated from the full competition link and the most Small and medium enterprisess have no the space of market extension. The market mechanism cannot take the action to conform and reform the segment market and it is hard to form a unified and complete industry market system and the formal market transaction relationship. Therefore, the actual contradiction between the marketing characteristic of the market and the management system makes the market mechanism cannot play a full role.

(3) Unreasonable industrial organization and the high transaction cost

The above content makes the analysis that the defect of the government and the market restricts the formation and development of the Small and medium enterprises from the aspect of the internal operation mechanism. The industrial organization form of the Small and medium enterprises in our country are displayed as the” tiny, weak, disorder and loose” of those enterprises.

The unreasonable industrial organization restricts the formation of the small and medium enterprises’ system of division of labor and the development of the chain. And due to the market separation and the credit deficiency, the transaction cost of enterprises is increased and the formation of the industrial cluster is restricted in the end.

(4) The lack of finance restricts the development of the Small and medium enterprises cluster

The problem of the fund raising for the development of the Small and medium enterprises cluster has been an universal problem and the reason why so many investors do not want to invest in the small and medium enterprises are the high risks and it is hard to forecast the income from the investments or they think that the small and medium enterprises have too low benefit to invest. For the general small and medium enterprises, the small and medium enterprises do larger uncertainty and higher risks to engage. And that is also the reason why although the industrial belongs to the industry based on the capital, techniques and human resources; it is really hard to precast whether the product can achieve the approval of the target customers and market and whether the product can gain something. And by the way, because of the base of the major enterprises’ operation is single projects and there is no methods to share the risk in investment, the problem of the developing finance in the Small and medium enterprises is bigger than that in those general small and medium enterprises. The weak ability of finance absorption leads to the small general capital and high market risks for the Small and medium enterprises. Besides, the difficulty for the intellectual property being

the guarantee to gain the loan also restricts the investment and flotation of the loan and as a result the Small and medium enterprises cannot develop and strengthen themselves.

(5) The barrier of the information and knowledge restricts the formation and development of the Small and medium enterprises

Among the so many Small and medium enterprises there is no the existence of the information exchange and all the existing information and knowledge is too old. Although there is a big deal of information and knowledge besides the enterprises, it needs to cost much capital-the capital for searching and selecting-for a single enterprise to again new information and knowledge. And it is hard for the enterprises to bear and it can cause the enterprises have no ability to support the market suitable product and service. Especially for those originality enterprises which depend on large quantity of recessive information, knowledge acquire needs the close communication. But the centre-small originality enterprises always do things for their own business and this situation leads the recessive information cannot spread. And though these enterprises have the mode of cluster development, they cannot achieve the inner economic function of the industry cluster and lose the internal vitality of sustainable development and the slow development of the whole industry.

III. The strategies to promote the development of the Small and medium enterprises

From the content we have discussed above we can find out that the major elements which restrict the development of the Small and medium enterprises' cluster include the lack of the government policy, the setbacks of the management system, the unreasonable market structure, the unreasonable industry organization and the lack of the agents of production such as the information and knowledge. And according to the analysis of these problems the government should assume some strategies from the aspects of the management system and industrial development strategy, the market making-up and enterprises' cluster to reduce the cost of the exchange among enterprises, to boot the specialization and promote the indirect intervening measures of improving the industrial economic externality, to cultivate the environment and interests mechanism of forming the Small and medium enterprisess' cluster, and to promote the related the formation of the industrial cluster.

(1) To deepen the reformation of the system, to improve the management system and to promote the Market dominance and diversity of the industrial

To reform the "limited open" market environment of the industrial and remove the barrier of entry within the industrial；to promote the growth of private enterprises and industries in the incremental areas； to reform the supervision of the government from the traditional "people manage" to "market manage"; to reform the supervision to the state-owned institutes from "goods supervision" to "capital supervision"; to promote the strategic reorganization of the state-owned institutes as well as the organic flow of the value modes of the state-owned assets. And in the process we should form "strategic investor" to strengthen the national industrial.

(2) It is one important function for the government to formulate development projects for the Small and medium enterprises' cluster according to the comparative advantages and character of the local economy. And in the aspect of the industrial cluster developing strategy, the government should put forward the projects which are suitable for the law of the local economic development from the base of comparative advantages. And the emphasis should be put on the aspect of the path of the cluster development which has three aspects: first, the space and physical layout of the industrial. And here, the physical layout is a large scale and all the small and medium enterprises are getting together which is the necessary condition for the formation of the industrial cluster.

(3) On the aspect of the production of the creative project and industrial growth mechanism, we should use the construction of the projects to promote the gathering of the productive elements in order to extend and relate the advantageous products and industries and to form a chain. With the support of the projects' construction, we should introduce, support and strengthen the leading enterprises to optimize the investment structure and to enforce the "multiplier effect" of the industrial investment. And in the aspect of the promoting the industrial growth mechanism we should base ourselves upon the local culture and current industrial strength to introduce and absorb the advanced mode and experience of foreign counties and with the help of the government investment and preferential policy, we can attract the social funds to invest. And by accumulating the production elements from the famous industrial projects, we can promote the formation of the industrial cluster under the leadership of the leading industries.

(4) To promote and guide the division of labor based on the specialization in the industrial cluster to avoid the operating mode of "small and complete" and "big and complete". The division of labor based on the specialization under the market mechanism is the basic power of the formation for any industrial cluster. And in the aspect of the industrial cluster constitution, we must optimize the industrial organizational structure to avoid the existence of the "small and complete" and "big and complete" mode. To form the real industrial cluster on the base of promoting the complete production network between the large-scale enterprises and the center-small enterprises.

(5) E.To set up the perfect system of the loan-flotation and the intermediary service system and to promote and build the Small and medium enterprises which can reveal huge market potential and profits. Although it is hard for the existing system of the enterprises in China to raise found, from the aspect of the market it is also an important reason that the enterprises have not produced the product or projects which can make huge market profits. Therefore, firstly, we should set up and perfect the financing system and increase the governments' financial investment to the industrial cluster. And we should extend the ways of attracting the local capital as well as the foreign investment to enforce the competition of our industrial. Secondly, we should develop the intermediary roles such as the planners, agents and producers. They can help to improve the development of the product such as in the process of planning, producing, package, promotion, sale, service and management of all the aspects in the industries. To form the enterprisers and professional managers of the enterprises to increase the managing system and market network in which the resource can be shared with each other. Finally, to form a "industrial centralization, industrial" mode in which the business and culture can merge with each other completely.

(6) To promote the foundation of professional information plat and improve the technique contents of the industrial. The core competition of the Small and medium enterprises is in the aspects of "special, precise, specialized, fresh", and the foundation of the informatization, introducing, abortion, and digestion of the high and new techno ledge are the basis and guarantee of achieving these core competition. In order to cultivate the core competition of the Small and medium enterprises, we should do something from the aspects below: to give the industries more policy favor in the aspects of research and development and introducing the high techniques and improve the content of skills in the product and enforce the competition of the industries; to build the professional information plat and establish the professional information structure to provide information service for the industries inside the cluster; to speed up the spread of the new technique information and management knowledge as well as the industry news to reduce the cost the gaining the information for a single industry inside the cluster; to improve the whole competition of the industry cluster. Besides, to make the reasonable location of the industrial cluster and find out the connotation which is suitable with the local characteristics to promote. One important respect which differs the industrial cluster from the other industrial clusters is that the former has the strong connotation and spiritual particularity. Finally we should form an

institutional guarantee in the industrial cluster. And in other words, we should put forward the concrete projects of how to reduce the cost of exchange and how to promote the industrial division and also which industry should be chosen as the starting point to carry on the cluster cultivation.

REFERENCES

[1] Zhu Yingming. Industry clusters and the characteristic economic research [J]. Industrial Technology and Economy, Mar. 2005

[2] Chen Xu. Research on technological innovation proliferation based on the enterprise cluster [J] . Management Journal, Mar. 2005

[3] Lv Jun, Yan Guanghua. Research on "Spillover Effects" of industry cluster - the supply chain [J]. Commercial Economics and Management, Aug. 2006, PP.19-20

[4] Huang Po, Chen Liuqin. Industry cluster and enterprise technology innovation [J].Xinjiang Social Sciences, Jan. 2006

[5] Wang Liping. Research on Chinese Textile Industry Clusters Strategy[J]. Future and Development, 11. 2006

[6] Wang Yunping. Innovation Characteristics and Analysis of Textile and Garment Industrial Cluster [J]. Review of Economic Research,.47.2007

[7] Zhang Yu, Jiang Dianchun, “FDI, Industrial Agglomeration and Technology Progress: Evidence from Chinese Manufacturing Industries[J]. Journal of Finance and Economics, 1.2008

基于混合集合规划的大规模生产排程算法的研究

杨 龙[1] 梅 军[2] 刘茂辉[2]

（1. 北京理工大学管理与经济学院 北京 100081;
2. 成都四威高科技产业园有限公司 四川 成都 611731）

摘 要：生产排程问题是一个复杂的组合优化问题。本文采用混合集合规划方法对该问题进行建模与求解。对于大规模问题，根据滚动排程的思想，先将数据按照一定的规则分成若干小规模数据，并分别对小规模数据的问题进行求解，然后根据滚动、衔接逻辑，将分解后的小规模数据问题的解进行合并形成大规模数据问题的一个解。

关键词：生产排程；混合集合规划；滚动排程

0 引言

生产排程问题[2,5,6]一直是工业上常见的NP-hard问题，复杂性理论（Complexity Theory）表明，不存在多项式时间算法求解该类问题 (除非P类问题等于NP类问题)[1]。本文研究的离散型制造业的生产排程问题实质上是零件在设备上的加工时间与加工顺序的安排问题。利用传统的运筹学算法对其进行理论上的研究虽然有很长一段历史了，但是生产排程问题终归是工业上的应用，实际应用要比理论研究更为重要。对大规模的生产排程问题，在有效时间内找到一个可行解要比求出理论上最优解更切实可行。针对大规模的生产排程问题，本文将采取滚动排程的策略，利用NCL语言[2,3]对复杂的、多约束、多目标的生产排程问题进行建模和求解。

1 生产排程问题

生产排程问题是一个典型的约束满足问题。其建模实质就是在满足设备生产能力约束、工序候选资源约束、零部件各工序次序约束、各工序同步约束、订单最早开工时间以及最晚交付时间约束、每日工作时间窗口约束、订单优先级约束等条件下，按照主要设备最大利用率、订单延迟数最小、主要设备最小加工时间跨度等优化目标，在最近的下一个周期内，对各个设备上加工的工序进行优化排序。离散制造业的排程问题更是一个复杂的生产排序问题，具有约束复杂，多目标，不确定性大等特点。

成都四威产业是一家典型的装备制造型企业。其生产方式以离散生产（零件加工）为主。该公司的生产加工模式是典型的单件、中小批量、多品种混流、混批生产的加工模式，所生产的产品具有物料复杂、工艺多变、加工时间长和生产不确定性大等特点。该公司现有的生产调度大致模式如下：

生产任务订单首先录入计算机辅助管理系统（CAPP），经过技术中心及其他相关的系统生成任务订单的物料、工艺路径（具体到每道工序）及物料的其他技术信息；然后技术中心将这些任务订单的物料信息和工艺路径导入到 MIS 系统中；接着，车间计划调度人员依照 MIS 系统中的任务订单信息，根据个人的经验和车间的生产特点，手动指派每个岗位每日的所要完成工序，但是并不具体安排每道工序的开工时间和加工顺序。

作者简介：杨龙（1988 -），男，安徽马鞍山人，硕士研究生，主要研究研究方向：复杂系统建模与管理系统工程、决策理论与方法。梅军（1966 -），男，四川仁寿人，电子科技大学计算机软件专业，主要研究方向：企业信息化，信息管理与信息系统。刘茂辉（1962-），男，陕西岐山人，研究员高级工程师，研究生学历，主要研究方向：生产运作管理，系统工程

现有计划排程方案虽然初步满足了工厂生产信息化的需求，但是随着企业生产自动化程度的进一步提高和生产订单量的加大，现有系统的瓶颈愈发明显：手工安排生产无法科学、合理地实现现场多工序、多资源的生产调度；生产任务的多样性、复杂性、紧迫性以及订单任务的巨大规模使得手工安排计划生产成为一项艰巨而几乎不可完成的任务。

1.1 主要约束

本文涉及的生产排程问题的约束种类繁多，经抽象化后大致可按资源、订单、工序分类[2]。

1.1.1 资源层级约束

资源层级约束主要包括以下几种：

（1）工作日历：法定假期、设备定期检修、工人休息等限制资源的可工作日期。如车床 1 周末不工作，那么在 2009-2-5～2009-2-9 间，车床 1 的“工作日历”为日期集合{'2009-2-5'，'2009-2-6'，'2009-2-9' }。

（2）每日工作时间段：每天可工作的时间集合。如车床 1 每天在 12:00～14:00 及 18:00～08:00 区段不工作，那么车床 1 的“每日工作时间段”为时间集合{'08:00'.. '11:59', '14:00'.. '17:59'}。

（3）资源的生产能力：单位时间内资源设备处理相同零件的数量。

（4）资源的使用方式：并行或串行。其中并行加工指的是资源设备可以供有相同资源需求的工序同时使用，如多个工序同时使用资源设备“清洗”；串行加工是指资源设备在任一时间内只供一个工序使用。

1.1.2 订单层级约束

订单层级约束主要包括以下几种：

（1）最早开工时间：订单最早开始加工的时间；

（2）最晚完工时间：订单最晚完工的时间；

（3）订单间次序关系：如订单 A 需要排在订单 B 前执行，即订单 B 必须在订单 A 完工后才能开工或订单 B 必须在订单 A 开工后才能开工等；

（4）订单的优先级：不同的订单可能有不同的优先级，优先级越高的订单加工次序越早。

1.1.3 工序层级约束

工序层级约束主要包括以下几种：

（1）工序的资源需求：如工序 a 需要在车床 1 或车床 2 上进行加工；

（2）工序的加工时间；

（3）工序的时序控制：如工序 a 完工后一小时，工序 b 开工；

（4）工序的时间窗口：如工序 a 的开工时间在 10:00～12:00 之间；

（5）工序的资源可替代性：如工序 a 最好用 1 类资源加工，若无 1 类资源，那么可用 2 类资源加工；

（6）工序的工艺流程。

另外还有一些复杂的个性化约束，例如下班前不开工、小批量遗留当班完成……

1.2 优化目标

生产排程的优化问题通常都是多目标的，一般有以下优化目标[2]：

（1）最小化订单的时间延迟量；

（2）最小化工期；

（3）最小化订单延迟数量；

（4）最小化工作时间跨度；

（5）最大化主要资源利用率……

2 混合集合规划

混合集合规划（Mixed Set Programming）[3]源于逻辑规划（Logic Programming）[4]和约束规划（Constraint Programming）[4]，是以一阶逻辑与集合推理为算法框架的逻辑求解系统，它实现了实数、整数、布尔值、日期/时间及集合类型的混合域上的全局推理，将集合运算、数值约束、逻辑函数及运筹学算法集成于一个语言系统以处理约束满足问题。这里的集合规划概念并非在问题求解中对集合符号、集合变量及集合约束的简单使用，而是系统地将集合推理与运筹学算法相结合，以集合变量为主进行问题建模，以基于集合推理的算法来求解问题。

在实际运用中，许多问题并不能用线性模型和简单的整数或实数变量描述。混合集合规划旨在实现一种超越线性限制的、更通用的算法系统来求解约束满足问题，特别适用于集合覆盖/集合划分、生产排程、路径优化等问题。

3 大规模生产排程问题的建模及求解

本节介绍采用 NCL 语言（Natural Constraint Language）对大规模的生产排程问题进行建模求解的过程。NCL 语言是一门集优化计算、逻辑编程及求解规则于一体的业务建模和问题求解的智能描绘型语言，它支持混合集合规划。

3.1 数据逻辑

为支持软件工程，生产排程的数据库设计采用面向对象的方法[2]。

通过问题建模分析可知，生产排程问题涉及三个基础数据类：资源（RESOURCE）、作业(JOB)、工序(TASK)[2]。RESOURCE表对应资源数据类，用来定义资源的标识符(id)、名称(name)、类型(type)等；JOB表对应作业数据类，用以定义作业的标识符(id)、最早开工时间（t1）、最晚完工时间(t2)等；TASK表对应工序数据类，定义工序的标识符(id)、名称(name)、对应的作业编码(idJob)、候选资源标识符集合（IdResource）、可开工时间窗（TimeWin）等。为支持滚动排程，系统引进已占用资源表OCCUPATION定义资源编码（id）、资源占用起始时间（t1）、资源占用结束时间（t2）等。

在实际应用中，用户还将面对产品(PRODUCT)、工艺路线(PROCESS)、订单(ORDER)三个数据类。他们之间的关系如下：

（1）PRODUCT 定义车间所能生产的产品的标识符(id)、名称(name)、类型(type)等；

（2）PROCESS 定义车间生产各类产品的工艺路线的标识符(id)、名称(name)、生产的产品(idProduct)、加工路线（产品在各资源上的加工路线）等；

（3）ORDER 定义车间生产各类产品的订单的标识符(id)、名称(name)、生产的产品(idProduct)、产量（quantity）等。

数据之间的关系如下：由于资源能力的限制，一个订单可能要分批次加工，对应一个或多个作业；由作业表(JOB)及工艺路线表(PROCESS)可派生出工序表(TASK)。

3.2 滚动排程

对于大规模生产排程问题，由于其数据量巨大，不可能一次进行全局优化求解，本文采取的方案是基于小规模局部优化的“滚动排程”。该方案的核心是将大规模数据合理地分成若干组小规模数据，这些小规模数据都可以在较短的时间内被混合集合规划算法优化求解，将这些小规模数据的解有机地组合起来即是原问题的一个较优可行解。方案的整体框架如图 1 所示。

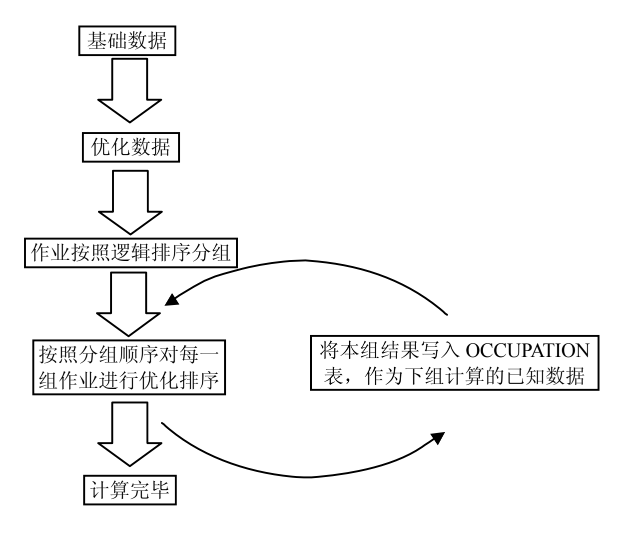


图 1　滚动排程

3.3　模型详解

NCL对生产排程问题的建模在于对问题的数理逻辑描述。表 1 介绍的是模型中的主要常量和变量。[6]

表 1　生产排程模型中的主要常量和变量

定义	NCL 语言	类型
设备 i 上工作日历	$ScheduleResource_i$	日期/时间集合常量
工序 i 所用的资源设备的编号	$resourceTask_i$	整数变量
工序 i 的加工时间段	$TimeTask_i$	日期/时间集合变量
工序 i 的所有加工时间段的并集	$WorkTimeTask_i$	日期/时间集合变量

下面介绍生产排程问题的主要模型，用以说明 NCL 的自然建模过程：

（1）订单分组模型

定义作业分组数变量 nbGroup 的过程中，每次安排一定数量的工序，直到拆分完所有的订单包含的工序：

$criticalOrd \in JOB$,

$\sum_{i \in JOB} nbTaskJob_i \ < nbGroup \Rightarrow ($

$ciriticalOrd = nbJob$,

;

$\sum_{i \in [1, ciriticalOrd-1]} nbTaskJob_i \ < nbGroup$,

$\sum_{i \in [1, ciriticalOrd]} nbTaskJob_i \geq nbGroup$,

),

由于篇幅限制，本文不介绍具体的分组排序规则。

（2）生产排程模型

1）工作日历约束[6]：

对于任意一个工序，其有效时间为该工序在所需设备资源上的工作时间段（不同的资源的可工作时间段可不同）和该工序加工时间段的交集。复杂的工作日历约束在混合集合规划下可被高度简洁地描述如下：

$\forall\ i \in TASK\ ($

$\quad WorkTimeTask_i = TimeTask_{\ i} \cap ScheduleResource_{resourceTask_i}$,

$\# WorkTimeTask_i = timeTask_i$，

)，

2）工序对资源及时间的需求约束[6]：

对于任意两个不同的工序，它们用到的资源实体不相同或者加工时间段不冲突。相应的 NCL 建模如下：

$\forall\, i \neq j \in TASK$

$resourceTask_i \neq resourceTask_j \vee TimeTask_i \cap TimeTask_j = \varnothing$，

以上约束称为二维排程约束，是生产排程问题的核心约束。它将工序的资源变量(整数：$resourceTask_i$)及时间变量(集合：$TimeTask_i$)上的约束逻辑描述为：两工序或者占用资源不同，或者加工时间段不相交。

对于任意一个资源，其工作时间段等于所有使用该资源的时间段的并集；对于使用该资源的任意两个不相同的工序，它们的加工时间段不冲突。

$\forall\, i \in RESOURCE$ (

$TimeResource_i = \cup_{j \in TaskResource_i} TimeTask_j$,

$WorkTimeResource_i = \cup_{j \in TaskResource_i} WorkTimetTask_j$,

$\forall\, j \neq k \in TaskResource$

$TimeTask_j \cap TimeTask_k \;=\; \varnothing$,

),

以上的集合划分模型逻辑地描述在任意资源上所有工序的“并”是两两不相交的时间段（集合变量 $TimeTask_j$）。

3.4 求解策略

NCL 语言建模的关键之一是对搜索策略的设计。设计合适的搜索策略，才能对建立的生产排程模型高效地进行求解。NCL 的求解系统基于约束切割与深度优先搜索（Constraint Cuts and Depth-First Search），其框架如图 2 所示：首先用约束切割解的搜索空间，如查询变量的值域确定且不为空集则找到解，回溯继续搜索其余解空间以寻求更优解；如查询变量存在值域为空集者，则证明目前状态下无解，回溯继续探索其余解空间以寻求解；如查询变量的取值有未确定者(可以再细分)，则按搜索规则选择某个查询变量，将该变量的值域一分为二，把问题变成对应子域的两个子问题，系统进行分枝以求解子问题。

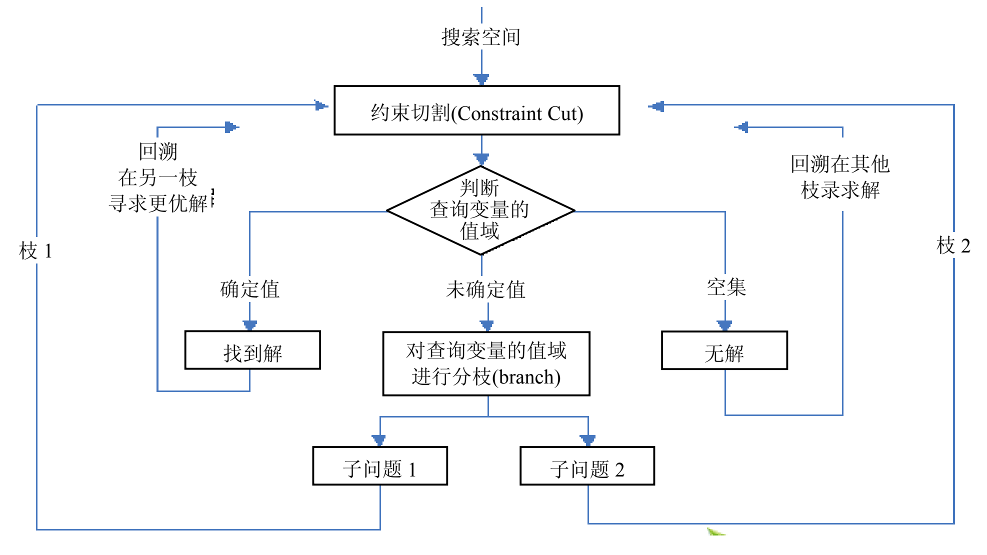


图 2　NCL 的求解框架

具体到生产排程的模型中，对于每道工序，系统只需确定工序所用资源和工序开工时间就可确定这道工序

的具体加工安排。因而，系统在查询变量的取值时，首先询问工序所用资源，然后再确定工序的开工时间。完善的二维排程算法和经过大量数据验证的通用性搜索策略保证了我们可以得到一个满足所有约束的可行解，并在此基础上进一步回溯以寻找更好的解。

具体如下：

$\forall$ i $\in$ RESOURCE (

$slackResourceResource_i = \sum_{k\in TaskResource_i} \frac{\#\Delta resourceTask_k}{\#TaskResource_i}$， % 资源 i 上工序平均候选资源数

$slackTimeResource_i = \sum_{k\in TaskResource_i} \frac{\#\overline{TimeTask_k}}{\#TaskResource_i}$, % 资源 i 上工序时间松弛度变量

),

$\forall$ i $\in$ TASKGROUP $\rightarrow$ (

min $\#\Delta$ $resourceTask_i$, % 最小松弛度：候选资源数最少的工序

min $\#\Delta$ $ScheduleResource_{resourceTask_i}$, % 最小松弛度：可开工时间松弛度最小

min $\underline{t1Task_i}$, % 顺序搜索：开工时间最早的工序

min $\#\Delta$ $TimeTask_i$, % 最小松弛度：加工时间最小的工序

)

$\forall$ j $\in$ Δ $resourceTask_i \rightarrow$ (

min j $\in$ CrucialResource, % 贪婪性：优先选取非关键资源

min $\#\Delta$ $TaskResource_j$, % 最小松弛度：候选工序数最少的资源

min $slackResourceResource_j$, % 最小松弛度：工序平均候选资源数最少的资源

min $slackTimeResource_j$, % 最小松弛度：工序时间松弛度最小的资源

)

$resourceTask_i$ = j ?,

$\forall$ i $\in$ TASKGROUP $\rightarrow$ (

min $\underline{t2Task_i}$, % 顺序搜索：完工时间最早的工序

min $\underline{t1Task_i}$, % 顺序搜索：开工时间最早的工序

)

$t1Task_i$ = ?,

3.5 结果输出

基于 NCL 语言的生产排程问题的结果可以三种可视化形式展现：甘特图、资源负载图、生产模拟。其中甘特图包括资源-工序甘特图，订单-工序甘特图；资源负载图主要用以展示资源的利用率，使用户对瓶颈资源一目了然；生产模拟功能可进行二维平面俯视图上的车间生产过程模拟与虚拟实时跟踪。

4 应用举例

本节以具体实例验证本文生产排程优化问题的模型和 NCL 的求解效果。运行的硬件环境是配有英特尔酷睿双核 T9400 处理器（主频 2.53Gz），2G DDR2 内存的 PC 机，操作系统为 Windows 7，建模求解工具是 POEM 优化计算平台 2.9 版。实例为四川成都四威产业园的生产排程问题。测试数据为订单 50 个，资源设备 463 个，工序数目为 11 700 左右的较大规模的数据。在求解过程中，采用滚动排程思想，将 11700 个工序分成 47 组，

求得整个问题可行解的时间为 50 分钟 17 秒左右。

计算结果的可视化按以下三种方法给出：

（1）甘特图，包括工位-工序甘特图和订单-工序甘特图。以工位-工序甘特图为例，图 3 展示工序在工位上的加工情况。

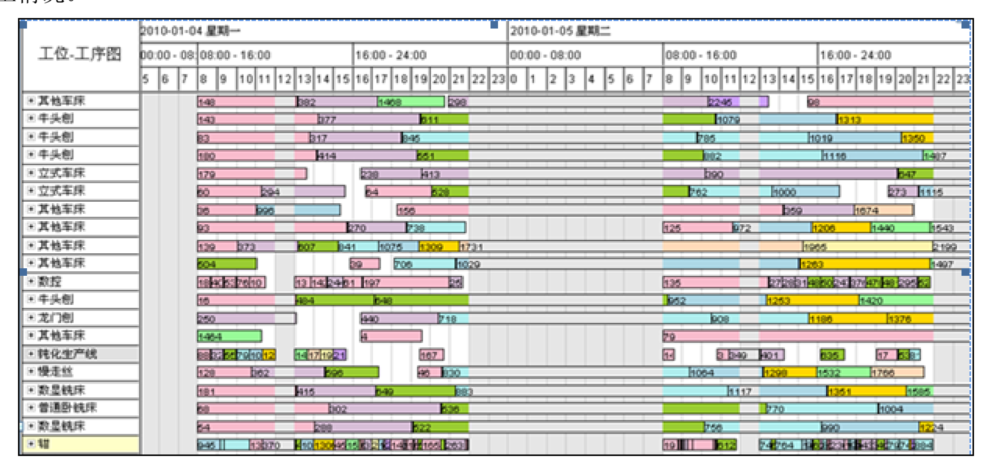


图 3　工位-工序甘特图

（2）资源负载图，用来展示每个资源设备的利用率。用户可直观地分析瓶颈资源，并有针对性地调整资源分配情况，以期得到更合理的分配，如图 4 所示。

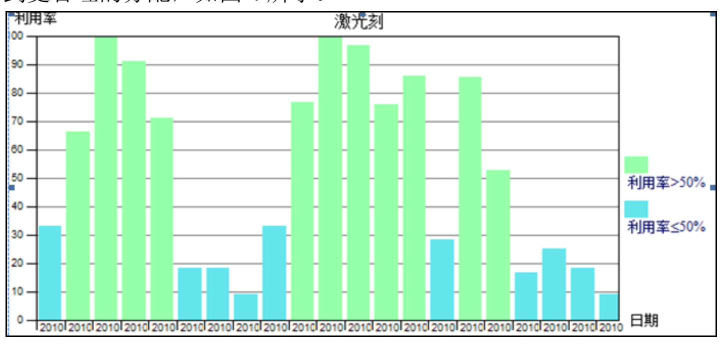


图 4　资源负载图

（3）生产模拟。它主要实现二维平面俯视图上的车间生产过程模拟与虚拟实时跟踪功能。用户可查看各资源的模拟工作情况（如该资源是否在工作，资源正在加工哪道工序），查看各作业的加工进度（如作业完成度、已加工完毕的工序、正在加工的工序等）。图 5 是一个作业的生产模拟截图。

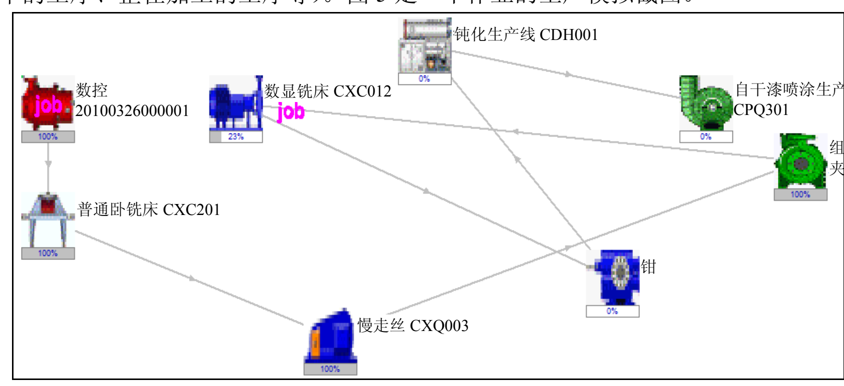


图 5　作业生产模拟截图

5 结论

生产排程问题是一个困扰学术界多年的NP-hard问题，一个简单的Job-Shop的MT10[5]问题就曾经使世界各地学者为之研究长达 25 年之久才得以解决。由此可知对工业应用中复杂的大规模生产排程问题求解的难度。本文提出了滚动排程的思想，先将大规模问题按排产逻辑分解，再将小规模问题逐一求解，最后通过一定的滚动和衔接逻辑将分解后的小规模问题的解进行合并而形成大规模问题的解。经过实例验证，对于较大规模的数据（10 万道工序以上的排产问题），通过滚动排程可有效地求得可行解，并给出完善的可视化结果，起到对生产进行指导的作用。

参考文献

[1] J K Lenstra, A H G Rinnooy Kan. Computational complexity of discrete optimization problems. Annals of Discrete Mathmatics.1979,4:121-140.

[2] 周建阳. 自然约束语言[M]. 北京：科学出版社，2009

[3] J Zhou. Introduction to the constraint language NCL. Journal of Logic Programming, 2000, 45(1-3):71-103

[4] A Colmerauer. An Introduction to Prolog III, Communications of the ACM,1990,33(7):68-90

[5] J F Muth & G L Thompson. Industrial Scheduling, Prentice Hall, 1963

[6] 倪骅，李照国. 生产排程的混合集合规划算法. 中国企业运筹学，2010，1:77-82

Research on Large-Scale Production Scheduling By Mixed Set Programming

YANG Long[1], MEI Jun[2], LIU Mao-hui[2]

(1.School of Management & Economics, Beijing Institute and Technology, Beijing 10081,China 2.Chengdu SIWI High-Tech Industry Co., LTD. Chengdu 611731, China)

Abstract: Production Scheduling is an NP-hard combinatorial optimization problem. To deal with a large-scale production scheduling problem, a new method called Iterative Scheduling based on Mixed Set Programming (MSP) is proposed: First, large-scale data is decomposed into groups of small-size data according to the problem logic; second, small-size problems are solved by MSP in an iterative manner; third, some grouping logic is used to sequentially merge the local solutions into a complete solution for the whole problem.

Keywords: Production Scheduling; Mixed Set Programming; Iterative Scheduling

基于DEA方法的我国高科技中小企业融资效率研究

赵 敏 刘 萍 施爱萍

（河海大学商学院 江苏 南京 211100）

摘 要：近年来，高科技中小企业在促进市场竞争，提高生产效率，实现产业结构的优化，创造就业机会等方面的巨大贡献已日趋突显。但与高科技中小企业对经济的贡献不对称的是，企业的融资困难和融资效率低下成为制约其发展的主要瓶颈。本文立足于研究我国高科技中小企业的融资效率问题，运用 DEA 分析方法，研究结果表明：90%以上的企业融资效率既不能达到规模有效，又不能达到技术有效，融资效率总体呈低效状态。

关键词：高科技中小企业；融资效率；DEA 方法

0 前言

效率问题是经济学研究的核心命题之一，是经济学理论的研究起点。它主要研究在资源稀缺及用途多样性的假设下，经济主体面对资源约束、做出何种抉择以及满足自身效用的决策效果能否使资源得到最有效的使用。

1 企业融资效率的含义

从国内外已有的文献来看，对“企业融资效率”这一概念并没有统一的界定和明确的标准，在实际使用中也是各抒己见。因此，就需要通过相关文献的回顾和分析，科学地界定企业融资效率的内涵。在西方文献中，几乎不存在企业融资效率这样一个概念，这可能与西方现有的财产组织体系或产权制度有极大的关系。西方国家财产组织具有的分散化、社会化、市场化和产权制度的私人特征以及比较完善的资本市场，使得企业融资天然具有效率的内涵。

国内关于企业融资效率的定义主要有：刘海虹（2000）和王明华（2002）从资金的趋利性出发，指出企业融资过程实质上是一种以资金供求形式表现出来的资源配置过程；卢福财（2003）把企业融资效率定义为企业某种融资方式或融资制度在实现储蓄向投资转化过程中所表现出来的能力与功效；叶望春（1999）在分析金融效率时，将金融效率分解为金融市场效率、商业银行效率、非银行金融机构效率、企业融资效率、金融宏观作用效率和中央银行对货币的调控效率这些方面，其中企业融资效率是指企业筹资成本、筹资风险以及筹资的方便程度。企业融资效率越高，社会闲散资金进入生产领域越容易，金融效率也就越高。

从以上定义来看，对于企业融资效率概念的界定，虽然都强调了其资源配置的经济效果，但均未将企业的融资能力、融资成本、融资的方便程度与企业组织自身的资产运营效率相结合，可以说在这一概念的层次上只注重了企业融资的量的概念及其经济效果，而忽视了企业融资的质的内涵；过分强调企业融资的外在因素，而忽视了企业融资与企业组织效率的双向互动。

本文认为，从基本层面来看，企业融资效率可以理解为企业以尽可能低的成本融到所需要的资金。这包括企业在多种融资工具之间做出成本最低的选择以及能否及时、足额筹措到所需资金的能力。而企业的融资效率还表现为企业所融到的资金能否得到有效的利用，企业融资成本只是企业为获取资本所必须支付的最低价格。

作者简介：赵敏（1962-），男，江苏南京人，研究员，博士生导师，主要研究方向：产业经济学与区域经济学；刘萍（1987-），女，山东菏泽人，硕士，主要研究方向：金融学；施爱萍（1988-），女，江苏盐城人，硕士，主要研究方向：金融学

从企业的角度来看，企业所取得的资金能否得到有效利用，所投资的项目能否获得最佳效益，直接决定了企业融资成本和融资效率的高低。如果企业的投资收益还不足以补偿融资成本的要求，即使融资成本再低，融资效率无疑也是低下的。因此，我们把企业融资效率定义为能够创造企业价值的融资能力。它应包括三个方面的含义：

首先，企业的融资效率是指企业是否能以尽可能低的成本融通到所需要的资金。这包括企业在多种融资工具之间做出成本最低的选择以及能否及时足额筹措到所需资金的能力。由于融资工具的供应由市场条件所决定，一定时期内投资者提供资本所要求的最低收益也由市场条件所决定，企业为获取资本所必须支付的最低价格在很大程度上企业无法控制，只能根据不同融资方式的风险程度给予一定的风险价值补偿。因此，企业的融资效率从企业自身角度来看是在给定市场约束条件下各种融资方式的选择问题，实际效率的提高取决于市场条件的配合。从这一意义上说，企业融资效率的提高是企业和市场相互作用的结果。

其次，企业的融资效率还表现为企业所融通的资金能否得到有效的利用。企业融资成本只是企业为获取资本所必须支付的最低价格。从企业的角度来看，企业所取得的资金能否得到有效利用，所投资的项目能否获得最佳效益，直接决定了企业融资成本和融资效率的高低。如果企业的投资收益还不足以补偿融资成本的要求，即使融资成本再低，融资效率无疑是低下的。从整个融资制度角度来看，大量微观主体的资金使用效率低下必然无益于资本资源的有效配置。因此，企业融资效率的概念还要包含融入资金的收益性或增值性特征。

第三，要从比较的和动态的观点来看待企业融资效率。在同样的市场条件下，企业融资是否具有效率，只有通过比较才能得知。对单个企业来说，可以通过横向比较，比较企业的融资成本和投资收益状况，得到企业融资效率的分布范围，判断企业融资效率的相对高低；从融资制度的整体经济效率角度来看，主要通过动态的比较，观察融资效率的演进趋势是否合理。

2　我国高科技中小企业的融资方式

2.1　内部融资

所谓内部融资是企业将内部资金作为融资来源，筹集生产经营所需的资金，主要从企业实现的税后利润提取，形成积累，主要包括盈余公积和未分配利润。一般企业都是将税后利润分配一部分给投资者，同时留有一部分未分配利润，并将其投入到企业再生产过程中去。这种内部融资方式，企业不需做融资活动，也没有融资费用的发生。因此，留存收益融资往往成为企业内部融资方式首选的一种融资方式。

2.2　债务融资

我国中小企业资本构成还有一个显著的特点，就是在外部融资组成部分中，多数企业偏好进行债务融资，尤其是商业银行等金融机构贷款是我国企业从外部获取资金的重要渠道。据中国人民银行 2007 年统计显示，我国中小企业外部融资的资金的 90%～95%来自银行贷款。

2.3　股权融资

另外一种融资方式是企业通过资本市场发行股票进行股权融资。我国目前正在进行的企业股份制改造为企业进行资本市场直接融资创造了良好条件。但是中小企业最大的特点就是经营规模小财务记录不健全，盈利能力弱，而股票市场价格波动大，市场风险高，中小企业的抗风险能力较差，使得它们不轻易选择这种方式融资。概括说，我国中小企业股权融资方式正在兴起，但融资范围和融资数量不大。

3　我国高科技中小企业融资效率的评价方法

融资效率的评价需要以评价值来衡量，评价值的得出则需要具体的评价方法来支持。评价目标的定位不同，

采用的评价方法也不相同。本文对高科技中小企业的融资效率评价，选取了数据包络分析法（DEA）。

数据包络分析法(Data Envelopment Analysis，记为DEA)是测度效率的非参数方法，是以相对效率概念为基础的一种目标决策方法。以DEA衡量效率的方式是建立在帕累托有效(Pareto optimality)的效率观念上。

DEA方法是运筹学家A.Charnes，W.W.Cooper 和E.Rhodes 在1978年创建的，最初提出的是规模报酬不变（CRS）情况下多项投入与多项产出时的生产效率评价模型CCR 模型，这一模型是用来研究具有多个输入，特别是具有多个输出的生产部门是否同时为规模有效与技术有效的方法。该模型由最有效率的决策单元构成生产前沿面，将其效率定义为1，而在其前沿边界之内的决策单元视为相对无效，其效率值定义在0和1之间。在1984年Banker，Chames 和Cooper提出了CRS模型的改进方案（VRS或BCC模型），以考虑规模报酬可变（VRS）的情况。

衡量某一决策单元j_0是否DEA有效，先构造一个由n个决策单元组成的假想决策单元，每个决策单元有输入向量即投入要素$X=(x_1, x_2, \cdots, x_m)^T$，输出向量即产出$Y=(y_1, y_2, \cdots, y_s)^T$，对任意决策单元基于凸性、锥性、无效性的公理假设，有生产可能集：

$$T=\left\{(X,Y)\mid \sum_{j=1}^{n}\lambda_j X_j \leqslant X, \sum_{j=1}^{n}\lambda_j Y_j \geqslant Y, \sum_{j=1}^{n}\lambda_j = 1, \lambda_j \geqslant 0, j=1,2,\cdots,n\right\} \tag{1}$$

如果该假想单元的各项产出均不低于j_0决策单元的各项产出，它的各项投入均低于j_0决策单元的各项投入，得到以下关于规模报酬不变的DEA模型（VRS或BCC）：

$$\min\left[\theta-\varepsilon\left(\sum_{i=1}^{m}s_i^- + \sum_{r=1}^{s}s_r^+\right)\right]$$

$$\text{s.t.}\quad \begin{cases}\sum_{j=1}^{n}x_{ij}\lambda_j + s_i^- = \theta x_{ij_0}, i\in(1,2,\cdots,m)\\ \sum_{j=1}^{n}y_{rj}\lambda_j - s_r^+ = y_{rj_0}, r\in(1,2,\cdots,m)\\ \sum_{j=1}^{n}\lambda_j = 1\\ \theta,\lambda_j,s_i^-,s_r^+ \geqslant 0, j=1,2,\cdots n\end{cases} \tag{2}$$

其中m和s分别表示输入和输出指标的个数；x_{ij_0} 和 y_{rj_0} 表示第j_0个决策单元的第i项输入和第r项输出，可简记为x_0，y_0；s_i^- 和 s_r^+ 分别为松弛变量；ε 为非阿基米德无穷小量，在计算中取正的无穷小，如$\varepsilon=10^{-6}$。

这里的θ 是一标量，λ 是第N×1维常数向量，根据Farrell (1957)的定义，θ 即是第i家DMU的效率值，满足$0\leqslant\theta\leqslant1$。当$\theta=1$时，表示该DMU是效率前沿面上的点，因而处于技术有效状态。N是N×1维的向量，即N=(1，1，…，1)1×N'。由此可以证明约束条件$N'\times\lambda=1$满足了规模报酬可变的假设。

规模报酬不变(CCR)的假设隐含着小项目可以通过增加投入等比例地扩大产出规模，也就是说项目规模的大小不影响其效率值。这一假定相当严格，在许多情况下并不满足，市场环境与政策限制等因素都可能导致高技术中小企业难以在理想的规模下运行。因此在CCR模型中，如果加入一个约束条件，就可以得到关于规模报酬可变情况下的VRS模型。CCR模型用来评价决策单元是否同时为规模有效和技术有效，VRS模型仅用于评价技术效率是否最佳，二者结合起来便可以对决策单元技术效率和规模收益作综合分析。

规模可变假设使得计算技术效率时可以去除规模效率的影响，由此得到的效率是纯技术效率PTE。通过模型计算，得到纯技术效率PTE和规模效率SE。规模报酬可变时，纯技术效率(PTE)反映在给定投入的情况下项目获取最大产出的能力(从产出的角度)；或者是在给定产出情况下项目所需要的最小投入的能力(从投入角度)。根据得到的纯技术效率PTE和规模效率SE，即所要研究的融资效率就可以归纳总结出高技术中小企业融资效率的整体情况，从中可以看出其对融入资金是否得到有效运用，以达到产出最大化，值越高表示其资金投入运用效率越好。

4 实证分析

4.1 样本选取与数据来源

本文选取 2010 年的上市信息产业类中的企业为样本来探讨融资效率。数据采集来自同花顺炒股软件等，从各家上市高科技企业 2010 年 3 月 31 日和 2010 年 6 月 30 日的季度财务报告中得到相关指标。在选取样本企业时剔除 ST 股票，ST 股票已体现出企业财务状况异常，即无效率经营，得到共 116 家企业。

从各样本企业 2010 年的第一季度季报中获得各指标的相应数据，从而了解信息产业企业的基本情况，统计整理结果如表 1 和表 2 所示。

从表 1 中样本企业投入分布情况看，超过 50%以上的企业资产规模低于 10 亿元，资产负债率均值 35.45%，中位数是 35.51%，71%的企业资产负债率小于 40%，说明高科技企业的资产负债率不高，从年报中反映负债中大部分是流动负债，长期负债占的比重很小，企业的负债主要是流动负债。

表 1　投入指标原始数据统计分布

资产规模（亿元）	≤10	10～20	20～30	≥30	均值（亿元）
企业数	53	28	14	21	62.09
股东权益总额（亿元）	≤5	5～10	10～15	≥15	均值（亿元）
企业数	34	38	22	22	18.46
资产负债率(%)	≤20	20～40	40～60	≥60	均值
企业数	35	36	27	18	35.45%

表 2　产出指标原始数据统计分布

净资产收益率(%)	≤0	0～1	1～3	≥3	均值
企业数	9	12	37	58	3.24%
总资产回报率(%)	≤0.5	0.5～1	1～3	≥3	均值
企业数	14	16	55	31	1.5%

从表 2 中样本企业的产出指标情况看，18%的企业净资产收益率小于 1%，均值 3.24%，中位数为 2.99%；总资产回报率的均值为 2.34，而中位数为 2.04，说明大多数企业的总资产回报率远远低于平均数。

4.2 融资效率评价指标建立

信息产业上市公司融资效率可以从不同的侧面反映出来，能够评价的指标也有很多，如果将所有指标全部考虑，不仅会由于指标重叠造成工作量的增大，还会影响评价效果。本文信息产业上市公司融资效率的评价指标（如表 3 所示）主要是从众多指标中选取的，是建立在数据的可获得性、体系的可行性、重要性与全面性相结合、经济性、可比性等原则的基础上的。

（1）投入指标

①企业资产总额(x_1)。反映高新技术企业融资的规模大小。该指标从总体角度反映高新技术企业融资情况，是其进行资金经营的基础。

②股东权益总额(x_2)。股东权益总额是指公司总资产中扣除负债所余下的部分，股本、资本公积、盈余公积、未分配利润之和，代表了股东对企业的所有权，也反映了公司的自有资本。当总资产小于负债时，公司就陷入了资不抵债的境地，这时，公司的股东权益便消失殆尽。相反，股东权益金额越大，该公司的实力就越雄

厚。

③资产负债率(x_3)。资产负债比率又称财务杠杆系数，即：

$$x_3=负债总额/资产总额\times 100\%$$

该指标反映资本结构对融资效率的影响，反映出企业资本结构的合理性，也反映资本结构对企业价值的影响。在生产经营状况良好的情况下，还可以利用财务杠杆的正面作用，得到更多的经营利润。如果企业的经营状况不佳，不但企业资金实力不能保证偿债的安全，财务杠杆还会发挥负面作用，导致财务状况越加恶化。由于资产负债率没有最佳标准，x_3取高新技术企业与本行业平均资产负债率之差的绝对值。

（2）产出指标

①净资产收益率(y_1)。净资产收益率表明所有者每一元钱的投资能够获得多少净收益。即

$$y_1=净利润/净资产总额\times 100\%$$

该指标通常也是越高越好。它反映了企业筹集资金获取报酬的高低，也反映了企业所有者的利益大小。该比率越高，说明企业获利能力越强。

②总资产回报率(y_2)，即

$$y_2=（利润总额+利息支出）/平均资产总额\times 100\%$$

表示企业包括净资产和负债在内的全部资产的总体获利能力，用以评价企业运用全部资产的总体获利能力。该指标反映全部资产的运营的速度，这一比率反映企业全部资产的运用效率。资产管理的任何一个环节都会影响指标值的高低。通常来说，这一指标也是越大越好。如果该比率较低，说明企业利用其筹集资金进行经营的效率较差，企业运转的速度太慢，这样会直接影响企业的获利能力与发展，反之，该比率越高，说明企业资金运转的速度较快，筹集资金的利用效率较高。

表 3　融资效率评价指标构成

融资效率评价指标	投入指标（x）	企业资产总额(x_1)
		股东权益总额(x_2)
		资产负债率(x_3)
	产出指标(y)	净资产收益率(y_1)
		总资产回报率(y_2)

上述指标较为全面地反映了信息产业类企业资金利用效率的状况，虽然可以在模型中引入更多的指标，但考虑到指标之间的交叉性和相关性对评价结果的影响，本文所选指标可以充分体现资金投入与产出的各个方面。原始指标数据的无量纲化在实际应用中，投入指标和产出指标均有不同的量纲，但这并不构成使用时的困难。决策单元的最优效率指标与输入输出指标值的量纲选取无关。但是，在模型中要求输入输出指标值为非负，实际应用时，原始数据中可能会存在负数，如企业处于亏损状态时利润总额就为负值。这时，就需要对原始数据进行处理。这里，将原始数据按一定函数关系归一到某一正值区间，采用的方法如下：

$$y_{ij}=0.1+\frac{x_{ij}-m_j}{M_j-m_j}0.9 \tag{3}$$

其中，$m_j=\min(x_{ij})$，$M_j=\max(x_{ij})(i=1,2,3,\cdots n)$，$y_{ij}=[0,1]$

4.3　融资效率评价结果分析

本文运用DEAP2.1 软件计算求解所涉及的DEA模型问题。根据样本企业的原始数据整理出 116 家高科技上市公司的有关输入输出数据，分别建立 116 个模型。每个DMU有 3 种不同的输入指标x_1、x_2、x_3以及 2 种不同的输出指标y_1、y_2。运用DEA模型来求解。

利用 DEAP2.1 上机计算，求得各决策单元最优解和相对效率值，即得到 116 家高科技上市企业的技术效率(TE)、纯技术效率(PTE)、规模效率(SE)。

表 4　高科技企业一季度融资效率评价结果

高科技企业	技术效率（TE）		纯技术效率（PTE）		规模效率（SE）	
	企业数	所占比例	企业数	所占比例	企业数	所占比例
有效	2	1.72%	8	6.9%	3	2.59%
非有效	114	98.28%	108	93.1%	113	97.41%
效率均值	0.31		0.36		0.91	

从效率评价表 4，可以知道在 2010 年第一季度，116 家上市高科技企业中，有 2 家企业融资效率的相对有效值为 1，且有关松弛变量为零，占 1.72%的比例，说明这些企业在此参考集内相对有效，表明其投入无冗余(已达最小)，产出也无短缺(已不能再大)，其融资效率处于有效状态，即由 1.72%的企业融资效率既规模有效又技术有效，其余 114 家企业相对效率值均小于 1 或虽等于 1，但存在投入冗余或产出不足，说明它们非相对有效，即它们的投入或产出有待改进。在这 114 家上市公司中有 6 家上市公司仅技术有效非规模有效，则既非规模有效又非技术有效的上市公司达 107 家，占到 92.24%。仅有 3 家企业规模效率为 1，说明该企业的技术水平、管理能力与其经营规模相匹配，其余 113 家企业都有规模效率损失。

表 5　高科技企业二季度融资效率评价结果

高科技企业	技术效率（TE）		纯技术效率（PTE）		规模效率（SE）	
	企业数	所占比例	企业数	所占比例	企业数	所占比例
有效	1	0.86%	8	6.9%	1	0.86%
非有效	115	99.14%	108	93.1%	115	99.14%
效率均值	0.44		0.52		0.87	

从表 5 看第二季度的融资效率情况，这 116 家样本高科技企业的综合效率、技术有效和规模有效的比例为 0.86%、6.9%和 0.86%，绝大多数企业既没有达到规模有效也没有达到技术有效。有 1 家企业的综合效率值（技术效率）为 1，既达到了规模有效又达到了技术有效，7 家企业仅技术有效。

综上所述，从整体上说，我国上市高科技企业的融资效率低下，说明高科技企业在资金融入受限的情况下，资金投入仍未得到最大程度的利用，未产出最大效率。

从最终得到 116 家高科技企业的规模收益情况，整理出企业的规模报酬情况如表 6 和 7 所示。

表 6　一季度规模收益情况

	规模报酬递增	规模报酬不变	规模报酬递减
企业数	40	4	72
比例	34.48%	3.45%	62.07%

表 7　二季度规模收益情况

	规模报酬递增	规模报酬不变	规模报酬递减
企业数	47	2	67
比例	40.52%	1.72%	57.76%

从表 6 中我们还可以看出，在 116 家信息产业类企业中，有 4 家企业处于规模报酬不变的，有 40 家处于规模报酬递增阶段。从表 7 可知，有 40.52%的企业处于规模报酬递增阶段。由此可以知道现如今越来越多的信息产业类企业处于规模收益递增阶段，但 DEA 效率值却较低。究其原因而言，可能是由于缺乏发展资金，因而制约了这些企业的进一步发展和转化项目的顺利实施。这些企业如果获得更多的投资资金且在实施转化项目时加强过程管理，规模效益会使其有更大的产出，融资效率也将得到进一步的提高。

5　提高我国高科技中小企业融资效率的途径

5.1　加强企业自身建设，增强融资能力

（1）加强企业制度建设，健全公司治理结构

公司的治理结构对企业资金的使用有效性有重要影响。当前，高科技中小企业普遍存在财务制度不健全，财务报告真实性与准确性较低，银行利益难以保障的现象，往往都是企业治理结构不健全所致。而建立现代企业制度，提高企业自身素质是解决民营中小企业贷款难的重要途径。第一，强化内部管理，把有限的资金用出效益。第二，高科技中小企业要积极完善会计制度。政府应采取鼓励措施，支持税务机关、会计师事务所等有关部门加强对中小企业财会人员的培训，帮助其建立会计账簿，完善会计制度。

（2）完善企业信息披露，树立良好的信用观念

高科技中小企业在获得银行等金融机构的债务融资时，通常面临着“信贷配给”问题，主要原因是两者之间存在着信息非均衡。解决该问题的关键是完善企业的信息披露制度，以增加高科技中小企业信用风险的透明度。这是防止中小企业逆向选择和道德风险行为以及建立信用市场公正、公开以及公平竞争的关键。而要做到这一点，就必须加强和完善高科技中小企业信息披露的法律法规体系，要求高科技中小企业在不涉及商业机密的条件下充分公开自己的信用及相关信息，增强企业信息的透明度，这样才有利于消除银行与高科技中小企业之间的信息非均衡。

5.2　分级发展资本市场，扩宽融资渠道

不同市场参与者对资本市场的需求层次是不同的，资本运作的层次也是有高有低的。基于此，一个成熟完善的资本市场首先必须保持在结构层次上的完整性，能够为各个层级、不同资本需求和运作目的的市场主体提供参与的空间和平台。我国目前设立了主板和二板市场，二板虽然针对中小企业，但对高科技中小企业来说门槛依然很高。为解决高科技中小企业的融资问题，应降低上市门槛，修改专门针对高科技中小企业的上市标准，建立三板市场，扩宽高科技中小企业的融资渠道。

5.3　完善金融机构对高科技中小企业的服务

（1）银行应推出有利于高科技中小企业融资的政策

针对现阶段高科技中小企业处于规模报酬递增阶段、资金缺口大的现状，银行应制定有利于中小企业融资的优惠政策：第一，对国有商业银行向高科技中小企业提供的贷款予以一定的税收优惠。第二，可考虑扩大商业银行对高科技中小企业贷款的利率浮动。第三，修改国有商业银行企业信用等级评定标准，变重视企业经营规模为重视企业经营效益。

（2）建立高科技中小企业信用担保机构

针对高科技中小企业高风险性及其特殊性，应考虑建立高科技中小企业信用担保机构，使其既熟悉高新技术又掌握金融知识，从而专门为高科技中小企业提供信用保证，以此来分担银行风险，提高银行对高科技中小企业贷款积极性，从而使高科技中小企业能较方便地获得银行贷款。同时也促进银行扩大贷款规模，提高自身效益，达到双赢的结果。普通的金融机构很难为其提供服务。

5.4 加强政府对高科技中小企业的服务

高科技中小企业的管理人员大多是科研班底出身的创业者。他们创业后虽有一定的经验，但在管理、控制、运筹、沟通等经营知识的欠缺限制了高科技中小企业的发展。因此，政府一方面要协调好政府部门与高科技中小企业的关系，为高科技中小企业提供各种指导(包括为高科技中小企业提供各种技术发展指南)、咨询服务(例如：高科技中小企业技术创新有关的税收、融资、法律、就业以及知识产权等方面问题提供指导和咨询)，而不是直接干预中小企业具体经营管理活动。另一方面应推动建立为高科技中小企业服务的市场化机构，特别是金融、技术中介、人才培训、管理咨询等对高新科技中小企业起关键性作用的要素。

参考文献

[1] 王新红. 我国高新技术企业融资效率研究[D]. 西北大学博士学位论文，2007

[2] 张燕玲. 北京高科技中小企业融资效率研究[D]. 北京化工大学硕士学位论文，2008

[3] 王江. 高科技中小企业融资方式研究[D]. 吉林大学，2004

[4] 魏权龄. 评价相对有效性的 DEA 方法：运筹学的新领域[M]. 北京：中国人民大学出版社，1998

[5] 张雪梅，赛志刚. 企业融资效率含义及评价方法相关文献综述[J]. 山东财政学院学报，2009(6)

[6] 魏开文. 中小企业融资效率模糊分析[J]. 金融研究，2001(6): 67-74

[7] 刘力昌，冯根福，张道宏等. 基于 DAE 的上市公司股权融资效率评价[J]. 系统工程，2004(1): 55-59

[8] 方芳，曾辉. 中小企业融资方式与融资效率比较[J]. 经济理论与经济管理，2005(4): 88-93

[9] 伍装. 中国中小企业融资效率研究[J]. 软科学，2006，20(1): 132-137

[10] 龙勇，常青华. 高技术创业企业创新类型、融资方式与市场策略关系研究[J]. 科学学与科学技术管理，2008(1): 70-74

[11] Norton E. Capital Structure And Small Public Firms [J]. Journal of Business Venturing，1991(6): 287-303

[12] Harris M.，A. Raviv. Capital structure and the informational role of debt[J]. Journal of Finance，1990 ，(45): 321-349

Financing Efficiency of Hi-tech SMEs based on DEA Method

ZHAO Min，LIU Ping，SHI Ai-ping

(Business School of Hehai University，Jiangsu Nanjing 211100，China)

Abstract: Resent years , High-tech SMEs make tremendous contributions in promoting the competition of the market，increasing production efficiency，optimizing industrial structure and creating the employment opportunities，which have been increasingly highlighted . But the difficulties in financing and poor efficiency of enterprises has plagued its normal development contrast to their contribution．So we aim at high-tech SMEs efficiency of financing in our country using Data Envelopment Analysis (DEA). The research showed that more than 90% enterprises in financing efficiency can not reach both the effective scale and efficient technology; and the overall state in efficiency was inefficient.

Keywords: high-tech small and medium enterprises; financing efficiency; data envelopment analysis

证券投资分析的聚类分析方法

陈国华　廖小莲　夏　君
（湖南人文科技学院数学系　湖南 娄底　417000）

摘　要：将聚类分析方法引入到证券投资分析中，随机地选取了 41 家湖北省的上市公司作为实例，建立股票综合评价指标体系，通过选定聚类分析的范围，收集股票样本的指标数据，求取行业指标的均值，对数据进行标准化处理，用SPSS软件进行聚类分析，得到聚类结果。研究结果表明，运用这种理性的投资分析方法能帮助投资者准确地了解和把握股票的总体特性，可以降低投资风险，规范投资行为。

关键字：聚类分析；证券投资分析；聚类分析；SPSS
中图分类号：F224　　　　　　　　　　**文献标识码**：A

0　引言

投资分析是证券投资的重要步骤，其目的是要选择合适的投资对象，抓住有利的投资机会，争取理想的收益。证券投资分析主要有基本分析和技术分析两种。基本分析的理论依据是证券价格是由证券价值决定的，通过分析影响证券价格的基础条件和决定因素，判断和预测证券价格今后的发展趋势。运用聚类分析模型能帮助投资者准确地了解和把握股票的总体特征，确定投资范围，并通过类的总体价格水平来预测股票价格的变动趋势，选择有利的投资时机。聚类分析是一种行之有效的指导证券投资的方法[4]。聚类分析首先是基于各类股票的行业因素、公司因素、收益性、成长性等基本层面的考察，然后利用综合评价指标体系来衡量样本股票的"相似程度"，运用聚类分析模型能帮助投资者准确地了解和把握股票的总体特征，确定投资范围，并通过类的总体价格水平来预测股票价格的变动趋势，选择有利的投资时机。聚类分析建立的是一种长期投资的理念，因此在我国证券市场走向成熟的过程中，提倡运用这种理性的投资分析方法，可以降低投资风险，规范投资行为。已有相关学者做了相关工作，如彭文洁在文献[1]中将聚类分析法和因子分析法相结合，应用到证券投资分析中做了研究和探讨，对指导证券投资提供了一条有效的途径。向长喜与陈焕文在文献[2]中提出的科技股投资决策支持系统能够为其他学者或券商在建立自己的决策分析信息系统时提供一定的参考价值。杨桦在文献[3]中将聚类分析模型应用于证券投资中做了拓展性的研究和探讨，分析了股票的内在价值，反映了上市公司的盈利能力和成长性，并且降低了投资风险。李敏与何理在文献[4]中要选用 14 个聚类分析统计指标，用离差平方和法对 31 家上市公司的股票进行聚类分析，借以通过对股票的基本面的分析，为证券投资者提供长期理性投资的依据，降低投机性带来的风险，树立以基本投资为主，技术分析为辅的理性投资理念，找出真正具有投资价值的股票，进行长期投资。周焯华等在文献[5]中通过建立完善的综合评价使聚类分析对指导广大投资者尤其是中小投资者进行投资决策具有很强的实践性。王君波等在文献[6]中将企业管理中计划管理的程序引入证券投资管理之中，为证券投资提供了定性分析的工具，使证券投资定性定量分析相结合，满足投资的需要，对聚类分析在证券投资中的应用价值必须进行实证研究。罗本德与彭小兵在文献[7]中利用聚类分析的基本思想，构建投资群体动态聚类方法的模型，以及股票市场投资群体聚类分析框架。陶冶与马健在文献[8]中利用 38 家中小企业板上市公司的 2004 年会计和财务数据，运用聚类分析和判别分析方法对其盈利、成长和扩张能力进行定量分析

湖南省教育厅资助项目（07C389）

作者简介：陈国华（1969-），男，湖南新化人，博士，副教授，研究方向：运筹学，管理科学，数学建模；廖小莲（1970-），女，湖南新化人，硕士，副教授，研究方向：运筹学，代数学；夏君（1987-）女，湖南株洲人，学士，研究方向：运筹学

研究，并据此归结出整个板块股票的分类及其特点，为投资者和市场各参与主体有效把握中小企业上市公司及其成长趋势提供借鉴。柯冰与钱省三在文献[9]中应用聚类分析和因子分析对汽车及配件行业的上市公司进行了综合分析，把上市公司区分为蓝筹股、绩优股、一般股和劣质股，与公司的实际情况相符。冯伟与孙德山在文献[10]中将聚类分析和方差分析相结合进行投资分析，对股票的收益性，成长性等方面进行分析，建立较为合理的指标体系，衡量样本股票的“相似程度”，再通过聚类分析为投资者确定投资范围和投资价值。李庆东与李颖文献在[11]中介绍了在证券投资中，投资者必须对股票进行基本面分析以减少投资风险。而当进行分析时，会遇到多个指标，且每个指标意义不同，有时很难进行决策，采用聚类分析可以帮助解决这一问题。施大洋与杨朝军在文献[12]中运用聚类分析对 180 样本股的研究发现，我国证券市场上股票存在着以行业类别为基础的风格，以微观属性划分的风格不明显。狄明明与孙德山在文献[13]中采用聚类分析和支持向量机结合的方法对股票进行分类，并用因子分析对股票数据进行简化，这在股票研究中是一个新的尝试。本文选取 41 家湖北省的上市公司，根据 2009 年年度报告中的信息及数据，选择每股收益、每股净资产、净资产收益率、每股资本公积金 4 项财务指标，采用系统聚类方法对这些公司股票进行了分析，将它们进行分类，为股票的分析和选择提供决策依据。

1　数据处理

1.1　数据来源

如表 1 所示数据来源上市公司中期报告(证券之星数据中心[10])。

表 1　上市公司中期数据报告

序号	证券代码	股票名称	每股收益（元）	每股净资产（元）	净资产收益率（%）	每股资本公积金（元）
1	600816	安信信托	.03	1.05	1.59	.08
2	600795	国电电力	.47	2.95	12.57	.77
3	600747	大显股份	.12	2.15	5.13	.53
4	600739	辽宁威大	.13	2.33	5.22	.18
5	600719	大连热电	.10	3.55	2.67	1.51
6	600718	东软股份	.96	5.13	18.78	2.06
7	600694	大商股份	.53	6.70	7.89	4014
8	600593	大连圣亚	.04	3.28	1.35	2.25
9	600399	托顺特钢	.02	2.83	.77	1.41
10	600396	金山股份	.23	2.29	10.06	.84
11	600346	冰山橡塑	.05	3.04	1.51	1.01
12	600317	营口港	.36	4.19	8.61	2.24
13	600306	商业城	.10	2.16	3.96	1.18
14	600303	曙光股份	.69	3.70	18.60	1.46
15	600297	美罗药业	.11	4.90	2.16	3.17
16	600241	辽宁时代	.24	4.25	5.84	2.12
17	600233	大杨创世	.16	2.82	5.72	1.13
18	600231	凌钢股份	087	4.26	20.49	.84
19	600190	锦州港	.13	1.18	10.66	.22

（续表）

序号	证券代码	股票名称	每股收益（元）	每股净资产（元）	净资产收益率（%）	每股资本公积金（元）
20	600167	沈阳新开	.30	2.42	12.22	1.76
21	600125	铁龙物流	.33	3.28	10.14	.53
22	600077	国能集团	.03	2.31	1.28	1.68
23	000961	大连金牛	.07	3.60	1.97	1.93
24	000898	鞍钢新轧	.60	3.42	17.53	1.04
25	000881	大连国际	.12	2.40	4.82	.82
26	000818	锦化氢碱	.03	3.42	.77	2.27
27	000817	辽河油田	.56	2.94	19.11	.77
28	000763	锦州石化	.34	2.32	14.63	.94
29	000761	本钢板材	.64	4.32	14.93	1.23
30	000751	锌业股份	.07	3.14	2.28	.88
31	000715	中兴商业	.25	3.19	7.80	1.48
32	000692	惠天热电	.05	3.92	1.25	2.38
33	000686	锦州六陆	.09	2.82	3.28	1.63
34	000679	大连友谊	.12	2.58	4.58	.81
35	000616	亿城股份	.57	2.39	23.96	.36
36	000597	东北药	.03	2.91	.92	1.94
37	000585	ST 东北电	.00	.88	.30	1.11
38	000558	莱茵置业	.10	1.26	8.33	.44
39	000530	大冷发展	.29	3.86	7.46	1.60
40	000511	银基发展	.27	4.16	6.44	1.99
41	000498	ST 丹化	.12	1.32	9.03	.44

1.2 数据的标准化处理

消除原始数据量纲不同的影响可采用正态标准化的数学变换。常用的变换方法有两种：标准差标准化和极差标准化。经变换后各指标的均值为0，标准差为1。

令 $\overline{x}_j$， s_j 和 R_j 分别表示第 j 个指标的样本均值、样本极差和样本标准差。

$$\overline{x_j} = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} x_{ij}\ ;$$

$$S_j = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{j=1}^{n}\left(x_{ij} - \overline{x_j}\right)^2}\ ;$$

$$R_j = \max\left\{x_{ij}\right\} - \min\left\{x_{ij}\right\}$$

标准差标准化 $x_{ij}^{/} = (x_{ij} - \overline{x}_j)/s_j,\ i = 1,\cdots n,\ j = 1,\cdots,p$

极差标准化 $x_{ij}^{/} = (x_{ij} - \overline{x}_j)/R_j\ ,\ i = 1,\cdots n,\ j = 1,\cdots,p$

1.3 指标的同趋化处理

逆指标正向化处理：流通股本是逆指标(单位取亿股)，对其的绝对值取倒数，即 $x_{ij}^{/} = 1/\left|x_{ij}\right|$，$i = 1,\cdots n,\ j = 1,\cdots,p$ 。

适度指标正向化处理：首先确定各指标的适度值a，然后计算适度值与各指标数据的差值，最后再将差值的绝对值取倒数。即：

$$x_{ij}^{\prime}=1/\left|a-x_{ij}\right|,\ i=1,\cdots n,\ j=1,\cdots,p$$

这里将指标资产负债率、流动比率、速动比率的适度值分别取为0.5，2，1。

2 用SPSS软件对指标进行聚类分析

利用SPSS软件，通过计算机的计算，根据聚类分析的结果，(假设将样品分成4类):

第一类：(600816，600747，600739，600306，600233，600190，000881，000679，000585，000558，000498)

第二类：(600795，600694，600396，600317，600241，600167，600125，000763，000715，000530，000511)

第三类：(600719，600539，600399，600346，600297，600077，000961，000818，000751，000698，000692，000686，0005971

第四类：（600718，600303，600231，000898，000817，000761，000616）

其中，第二、三类每股收益、每股净资产以及净资产收益率较高说明这类公司经营良好，具有较高的获利能力和较强的资本积累能力，业绩优良具有较高的投资价值。第四类公司经营业绩一般，投资者需谨慎选择，第一类几乎无投资价值。

3 分析结论

聚类谱系图如图 1 所示。

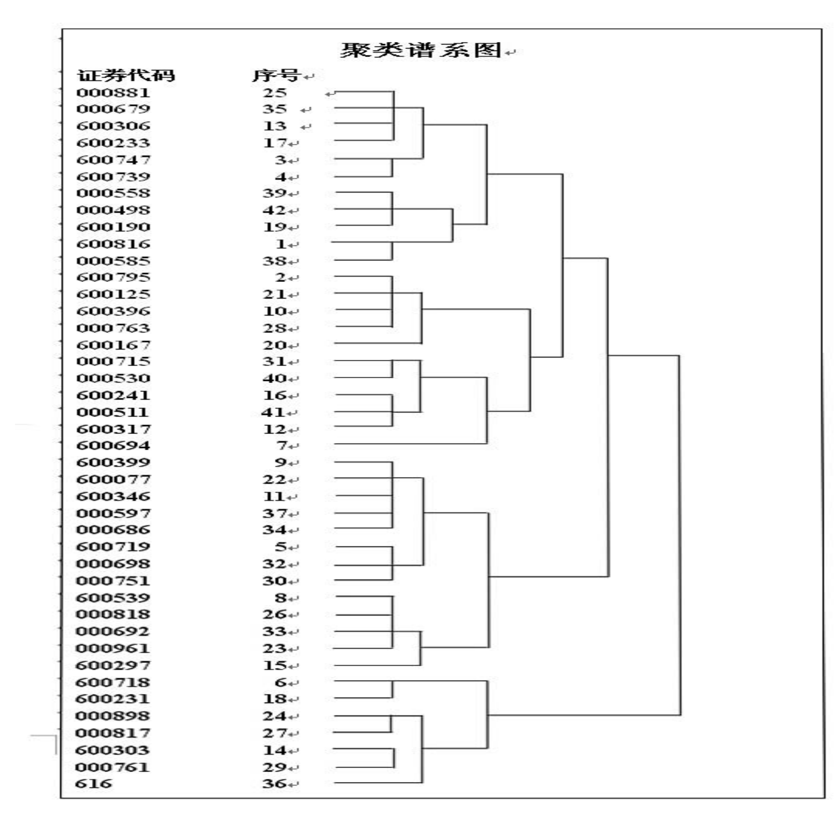


图 1　聚类谱系图

聚类谱系图直观地显示了聚类的过程，从图上可以清楚地看出各种股票的归属。根据选择距离的不同我们可以根据图形对股票进行新的分类。另外根据聚类谱系图可以清晰地看出每一种股票的原始分类及其聚类过程，从中我们可以了解各种股票的亲疏关系程度，如表2、表3所示。

表 2　产品分类

第一类	600816，600747，600739，600306，600233，600190，000881，000679，000585，000558，000498
第二类	600795，600694，600396，600317，600241，600167，600125，000763，000715，000530，000511
第三类	600719，600539，600399，600346，600297，600077，000961，000818，000751，000698，000692，000686，0005971
第四类	600718，600303，600231，000898，000817，000761，000616

表 3　收益情况

类别	每股收益（元）	每股净资产（元）	净资产收益率（%）	每股资本公积金（元）
1	0.42	3.04	0.15	0.49
2	1.27	4.28	0.31	0.87
3	0.79	4.15	0.19	1.02
4	0.79	4.27	0.18	2.84

通过聚类分析我们得到：第一类属于低收益、低成长性的“绩差股”。六个指标都相对最低，特别是每股现金流很小，与其他三类有明显差异。一般而言，经营性现金流多，表明公司销售渠道畅通，资金周转快，反之亦是。由此说明第一类公司经营稳定性差，发展不顺。而较低的主营收入增长率和净利润增长率说明公司几乎已不具备成长性，几乎无投资价值。第二类属于高盈利、强扩张力的“绩优蓝筹股”，是基金和机构投资者持有比重较高的品种，但这类公司数目较少。该类股票是投资者的最佳选择。第三类属于成长性非常快的“潜力股”，但较低的净资产收益率和每股收益，说明其盈利能力相对较弱，但主营收入增长率和净利润增长率都很高，说明该类股票正处于高速发展期，未来成长性看好。该类股票适合长期投资。第四类盈利能力良好，股本扩张空间也较大，但在高的主营收入增长率下，净利润增长却很缓慢，说明公司经营成本居高不下，抵消了业务的扩张，给企业的成长带来隐忧。所以投资该类股票要谨慎。

聚类分析立足于对股票基本面的量化分析。弥补了定性分析的不足。作为理性的长期投资的参考依据，其目的在于从股票基本特征决定的内在价值中发掘股票真正的投资价值。

参考文献

[1] 彭文洁. 多元统计分析方法在证券投资中的应用. 科技信息，2007，16: 173-174

[2] 向长喜，陈焕文. 基于数据仓库和数据挖掘的中国科技股投资决策支持系统研究. 电脑知识与技术，2008，3(4)：699-702

[3] 杨桦. 聚类分析在投资决策中的应用. 当代经理人(中旬刊)，2006，21: 1547-1549

[4] 李敏，何理. 聚类分析在证券投资基本分析中的应用，辽宁师范大学学报(自然科学版)，2006，29（2）：145-146

[5] 周焯华，陈文南，张宗益. 聚类分析在证券投资中的应用. 重庆大学学报，2002，25（7）：122-126

[6] 王君波，杨义群，欧阳浙江. 聚类分析在证券投资中的应用，商业研究，2003，282：102-104

[7] 罗本德，彭小兵. 股票投资群体动态聚类研究[J]. 经济体制改，2005（3）108-110

[8] 陶冶，马健. 基于聚类分析和判别分析方法的股票投资价值分析. 财经理论与实践，2005（10）45-48

[9] 柯 冰，钱省三. 聚类分析和因子分析在股票研究中的应用. 上海理工大学学报，2002（4）：371-374
[10] 冯伟，孙德山. 聚类分析在金融投资分析中的应用. 辽宁师范大学学报，2008（3）43-45
[11] 李庆东，李颖. 证券投资分析方法新探索——聚类分析方法应用，现代情报，2005（11）11-15
[12] 施大洋，杨朝军. 证券投资风格研究. 经济师，2005（9）：130-210
[13] 狄明明，孙德山. 聚类分析和支持向量机在股票研究中的应用. 计算机技术与发展，2008（7）：181-246

Method of Cluster Analysis in Security Investment Analysis

Chen Guo-hua，Liao Xiao-lian，Xia Jun
(Department of mathematics Hunan Institute of Humanities Science and Technology，
Hunan Loudi 417000，China)

Abstract：Clustering analysis method is introduced to the securities investment analysis, the 41 listed companies of Hubei province is randomly selected as examples, a comprehensive evaluation index system of stock is established, selected the scope of clustering analysis, collected the stock index data samples, obtained the indicators of the average industry, standarded the data and clustering results is obtained by using SPSS software. The research result shows that the rational investment analysis method can help investors to accurately understand and grasp the general characteristics of the stock, and then reduce the risk of investment and investment behavior.

Keywords: cluster analysis; security investment analysis; Cluster Analysis; SPSS

国有商业银行信贷风险成因及规避对策

杨 倩 梅洪常
（重庆工商大学 重庆 400067）

摘 要：作为金融最为重要的载体，国有商业银行的发展和演变受到了普遍的关注。随着国有商业银行的改革发展，不同的经济体制和外部环境的改变，均不同程度地影响了国有商业银行信贷风险的形成和累积。本文分别从政府和银行两个视角来分析国有商业银行信贷风险特殊成因，并利用银企间信贷退出博弈分析模型。最后有针对性地给出了相关风险规避对策。

关键词：信贷风险；国有商业银行；政府；规避对策

0 引言

对于商业银行来说，信贷风险是最重要的风险种类之一。信贷风险管理的失败不仅会使单一银行实力下降，甚至可能带来整个银行系统的崩溃，尤其刚刚经历了全球性金融危机，让我们要更加警惕和规避信贷风险。信贷风险又称违约风险，是指银行放款到期时，借款人不向其偿还放款本息而使银行资金无法收回的可能性，导致银行积累大量坏账、呆账。它的表现形式是银行不良贷款比例增高，即大量的贷款不能到期收回。不良贷款率是衡量银行信贷风险大小的重要指标，不良资产越多，不良贷款率越高，说明银行的信贷风险水平越高。从表 1 中我们可以看出，国有商业银行在我国商业银行不良资产状况对比中，不良贷款总量和比率都是“双高”，信贷风险相对较高。面对现在信贷资金的多样化、多风险的融资渠道，加上金融产权制度的改革历史，我国国有商业银行现在存在着严重的信贷风险问题，因此，追溯其信贷风险的根本原因，分析在国有商业银行在改革中出现的弊端，以有效提高风险管理能力和自身竞争力成为国有商业银行的当务之急。

表 1 2010 年国四季度商业银行不良资产状况（单位：亿元）

金融机构	不良货款余额	占全部货款比例
国有商业银行	3081	1.31%
股份制商业银行	565.1	0.70%
城市商业银行	325.6	0.91%
外资商业银行	48.6	0.53%

数据来源：中国银行业监督委员会

1 国有商业银行改革背景

我国政府对国有银行进行了专业化、商业化、股份制改革，其内外部环境发生了根本性的转变，都不同程度地影响了商业银行信贷问题。为了挽救四大银行的大量呆、滞账，1999 年成立了信达、华融、长城和东方 4 家资产管理公司，先后从四大商业银行和开发银行收购了 1.4 万亿元的不良资产。部分不良资产被剥离后，四大商业银行不良贷款比例平均下降了近 10 个百分点。为了严格控制不良贷款，人民银行采取了一系列强化金

作者简介：杨倩（1988-），女，湖北荆州人，硕士研究生，研究方向：企业管理；梅洪常（1958-），男，四川彭山人，重庆工商大学管理学院院长、教授、博士，研究方向：企业管理

融监管的措施，建立了不良贷款监测系统。国有商业银行也进一步加强了信贷内控管理，确定贷款发放和贷后管理责任制。由此，银行信贷资产的存量和增量风险都得到了一定程度地化解。2003 年，国有商业银行改革深化，开始扩大信贷规模，即扩大客户货款及垫款总额，同时，政府通过注资、核销不良资产、政策性补偿以及公开发行上市等渠道，把本应该由银行负担变成了国家的负担，银行在获得国家的资助后为获得更多的利润而进一步扩大贷款总额，使不良贷款率降低。

从表 2 中分析看出：在 2003～2006 年，四大国有银行不良货款率明显下降，除农业银行外，其不良货款率达到银监会指标低于 10%，但从 2007～2009 年，四大国有银行的不良货款率下降度明显放缓。其直接原因是不良货款额从 2007～2009 年基本没有什么变化，除 2007 年中国农业银行由于实行财务重组、不良资产剥离而导致不良货款率大幅下降外，其他银行只是通过放货总额的增长来带动不良货款率的微薄下降，所以信贷风险也没有得到明显改善。

表 2　2003 年-2009 年国有商业银行不良资产状况（单位：百万元）

时间		2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
中国建设银行	客户货款及垫款总额	2 122 134	2 225 585	2 458 398	2 873 609	3 272 157	3 793 943	4 819 773
	不良货款额	1935 21	87 243	94 469	94 399	85 170	83 882	72 156
	不良货款率	9.12%	3.92%	3.84%	3.29%	2.95%	2.21%	1.50%
中国工商银行	客户货款及垫款总额	3 392 937	3 706 274	3 289 553	3 631 171	4 073 229	4 571 994	5 728 626
	不良货款额	720 757	703 644	154 417	137 745	111 774	111 800	88 500
	不良货款率	21.24%	18.99%	4.69%	3.79%	2.74%	2.29%	1.54%
中国银行	客户货款及垫款总额	2 157 473	2 146 462	2 235 046	2 431 806	2 754 493	3 189 652	4 797 408
	不良货款额	351 224	109 920	103 226	98 220	88 802	87 490	74 718
	不良货款率	16.28%	5.12%	4.62%	4.04%	3.12%	2.65%	1.52%
中国农业银行	客户货款及垫款总额	2 268 393	2 590 072	2 829 291	3 139 431	3 362 330	3 023 505	4 011 495
	不良货款额	695 489	692 326	740 425	735 569	8179.73	1340	1201.74
	不良货款率	30.66%	26.73%	26.17%	23.43%	23.50%	4.32%	2.91%

数据来源：2003～2009 年国有商业银行公司年报

从以上国有商业银行信贷管理体制改革历程，以及国有商业银行的高额的不良资产现状看出，国有商业银行的信贷风险在无形中已经形成了一条矛盾的循环路线，如图 1 所示。

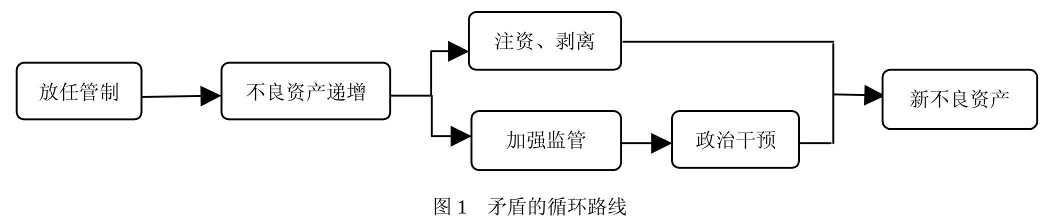


图 1　矛盾的循环路线

那么究竟是什么原因造成国有商业银行信贷风险循环累积？根据风险的产生，通常将其分为系统性风险和非系统性风险。前者的产生主要来自于政治、经济和社会因素，这些因素具有偶然性和随机性；非系统性风险

则主要是由经济系统内的不确定性造成的，可以分为企业盈利能力下降、银行内部管理和控制不力、外部体制性因素造成的风险。和普通商业银行相比，在转轨时期的国有商业银行股份制改革中，政府产生了什么样的影响？企业自身的信贷风险管理体制出了什么问题？这些都是追溯信贷风险原因的至关因素。因此，本文分别从政府视角和企业自身视角来探析国有商业银行信贷风险的特殊成因。

2　政府视角下信贷风险成因分析

自从股份制改造以来，建立商业银行的公司治理结构，银行和政府之间应不再有行政隶属关系，而是一种资本关系。而政府一直作为社会管理者，同时作为全民财产的代理人，在其日常行为中必然将社会目标纳入到国有银行的经营目标中。银行作为附属机构，所以身负社会和盈利的双重任务。在面对银行的改革中，产权制度以及政府的行政干预等，这些都带给银行的是在经营机制和管理体制上的各种弊端，也为日后银行积累大量的不良贷款埋下了祸根。下面主要从两个方面造成如今的国有银行信贷风险。

第一，产权不清晰、信息不对称。国有银行的所有权是由中央政府和地方政府代表行使的，银行的债权人主要是储蓄的居民，经营权掌握在银行经理手中，所有权和经营权相分离的结果必然存在产权不清晰、信息不对称和责任不对等等问题。银行经理在实现利润最大化目标的主观动机驱使下，为了自己或部门利益可能违规经营，发放明知难以收回的贷款，而产生的呆账最后由国家代表的所有权人承担。

第二，地方性政府过多干预，导致国有商业银行大量呆账、坏账。权利分配让地方政府承担经济发展的使命，片面地追求当地企业，尤其是国有企业的发展规模、速度、效益，利用行政手段来获得国有商业银行的信贷支持，干预市场配置、盈利分配。各级政府是经济与投资活动的主要规划者和参与者，政府通常喜好编制较高的经济增长指标，在要素生产率低下的条件下，实现目标的主要手段是大规模的资本投入。据统计，20 世纪 90 年代以来，中国政策性贷款占国有商业银行贷款总量的 35%左右，主要表现为地方政府压，地方财政挤，迫使银行发放大量指使性贷款、救济贷款，贷款行为行政化，信贷资金财政化，直接削弱了贷款产生经济效益的基础。地方性政府所争取的贷款大致分为两种，一是为国有企业以及重大的城建公司的改革和发展需要，二是为公益性项目的实施。这些贷款多数是由地方政府担保的大额、长期性的贷款，加上某些国有企业前几年的经营亏损，最后给国有商业银行留下的是大量无法追回的呆、坏账。

第三，政府补偿性质的方式，助涨了国有商业银行道德风险，弱化风险承担能力。在国有银行以巨大的经济损失来换取达到社会政治目标时，政府以另一种形式来补偿国有商业银行。例如，剥离、核销不良资产；政策性补偿；减免税收等隐性或显性的方式，来使国有银行承担国有企业改革、融资成本，助学、扶贫贷款等政策性责任。政府这种角色在一定程度上是减少国有商业银行的负担，降低了不良贷款率，体现在表 1 中 2003～2006 年，银行资产状况在国家的帮助下明显改善，不良贷款率下降；但是，从另一个方面是助涨了银行的道德风险，引发信贷风险增加。国有商业银行的管理者可以把企业中盈利性质的亏损转化为承担政策性社会任务的损失，而政府在无法真实的追溯其亏损原因或进行风险评估的情况下，只好为国有商业银行“兜底”。导致银行自身跨越道德底线，不计风险、不计成本扩大市场份额，放低信贷门槛，风险评估和信贷审核形同虚设，长此以往，国有商业银行缺乏风险意思淡薄、弱化主动抵御风险能力。

第四，政府对银行人事权力控制。在政府利用行政手段干预银行内部人事管理下，国有商业银行的权力结构十分特殊。政府绝对控制了银行人事任免的情况，使债权人几乎没有发言的权力，且政府对经理人员的任免、奖惩标准不仅仅根据银行经济绩效，还带了政治色彩和其他等主观因素，这必然使得银行经理人员的行为目标效用函数偏离银行财富最大化的准则。

3　银行视角下的信贷风险成因分析

伴随外部市场的变化，和其他股份制商业银行、国外先进商业银行相比，国有商业银行还缺乏一个全面、规范、有效的风险管理和内部控制体系，风险管理文化落后，风险控制的基础薄弱，在内部风险管理的建设方面还存在严重的问题，主要体现在以下几个方面：

3.1　风险意识淡薄，预控系统落后

近年来，深圳乃至广东各城市，进驻的商业银行机构越来越多，竞争也日益激烈。为了多拉客户，多家国有商业银行简化房贷流程和手续，“先出合同再审批”做法在业内通行，而从规范性看，本应是银行先审批完毕，再与客户签订合同。数年来已经形成的行业“潜规则”，可谓是恶性竞争所致。可见，国有商业银行风险意识淡薄主要体现在经营思想上，重业务扩张，轻内控管理，重短期绩效、轻长期利益，在发展业务与强化内控上顾此失彼。风险管理的主要精力放在不良贷款的化解上，事前防范少，事后处理多，定量分析少，动态分析多。

国有商业银行预控系统的落后主要包括：预警手段落后、预警信息系统不健全、内部评级的标准不够清晰和统一、风险分析工具落后。这些都还停留在传统的方式基础上，这就大大降低了对风险的监测和评估准确性。尤其是健全的内部评级体系能量化评价结果，找出控制中的薄弱环节和漏洞，采取有效措施来防范和弥补。如果建立了适合国有商业银行有效的内部评级法，当企业内部评级向不利于银行的方向变化时，银行就可以采取风险缓释措施，并实施策略性的退出或追贷，避免最后等待清算。我们可以通过建立银行和企业之间的支付博弈模型来解释商业银行在信贷退出战略的实施过程中，选择合作还是对抗战略，以体现内部评级系统建设在规避国有商业银行信贷风险中的重大意义。

简单起见，设银行退出成本包括违约成本为 C_1，和法律成本支出为 C_2，退出努力用 p_b， $p_b \in [0,1]$，信贷综合收益为 T。

则， $p_b = 1$，银行退出努力大，银行收益为： $T - C_1$

$p_b = 0$，银行退出努力小，银行收益为0。

假定贷款企业信誉度用 p_C 表示， $p_C \in [0,1]$，

则， $p_C = 1$，企业信誉度高，其还本付息支出为 T；

$p_C = 0$，企业信誉度低，企业的法律和其他支出为 C_2，企业收益为： $-T - C_2$。

银行和企业之间的博弈支付矩阵如表 3 所示。

表 3　银行和企业之间的博弈支付矩阵

银行策略		企业策略	
		配合	不配合
	追偿	$T - C_1$， $-T$	$T - C_1 - C_2$， $-T - C_2$
	不追偿	T， $-T$	0，0

通过上述支付矩阵的分析可知：

给定银行的推出努力 $p_b = 1$，企业最优选择是及时还贷，其信誉度 $p_C = 1$，收益为 $-T$，反之，给定银行的退出努力 $p_b = 0$，企业最优选择是拖欠贷款，其信誉度 $p_C = 0$，收益为 0。

同样给定企业信誉度为 $p_C = 1$，银行退出努力 $p_b = 0$，收益最大为T；反之，给定企业信誉度为 $p_C = 0$，银行退出努力 $p_b = 0$，收益最大为 $T - C_1 - C_2$。没有一个纯战略组合构成纳什均衡。

现在来分析上表描述的支付矩阵，看双方能否在调整时做出混合策略。如果银行和企业的随机选择是相对

独立的，那么银行退出，企业配合的概率是 $p_b p_C$，银行不退出，企业也不主动还贷的概率是 $(1-p_C)(1-p_b)\cdots$，那么，银行综合信贷期望收益的最大化效用函数为

$$U_h = p_b p_C (T - C_1) + p_b (1 - p_C)(T - C_1 - C_2) + (1 - p_b) p_C (T) + (1 - p_b)(1 - p_C) = p_b (T - C_1 - C_2 + p_C C_2 - p_C T) + p_C T \tag{1}$$

上式对 U_h 求 p_b 偏导数，得最大化一阶条件

$$\frac{\partial U}{\partial p_b} = T - C_1 - C_2 + p_C C_2 - P_C T \tag{2}$$

得

$$p_C = 1 - \frac{C_2}{T - C_2} \tag{3}$$

所以，如果企业以 p_C 的概率配合还贷，则银行的反应函数是

当 $p_C > 1 - \frac{C_2}{T - C_2}$ 时，银行低力度退出；当 $p_C < 1 - \frac{C_2}{T - C_2}$ 时，银行应努力退出；当 $p_C = 1 - \frac{C_2}{T - C_2}$ 时，银行对信贷退出视自身经营情况随机决策。

同理，给定银行信贷退出努力 p_b，企业经营收益的最大化效用函数为

$$U_C = p_b p_C (-T) + p_C (1 - p_b)(-T) + (1 - p_C) p_b (-T - C_2) + (1 - p_C)(1 - p_b) \tag{4}$$

上式对 U_C 求 p_C 偏导数，得最大化一阶条件

$$\frac{\partial U}{\partial p_C} = T - p_b (T + C_2) = 0 \tag{5}$$

得：

$$p_b = 1 - \frac{C_2}{T + C_2} \tag{6}$$

所以，如果银行努力追贷的概率为 p_b，企业的反应函数是：

当 $p_C > 1 - \frac{C_2}{T + C_2}$ 时，企业最优选择是配合；当 $p_C < 1 - \frac{C_2}{T + C_2}$ 时，企业选择不配合；当 $p_C = 1 - \frac{C_2}{T + C_2}$ 时，企业视自身经营情况随机决策。

因此，混合战略的纳什均衡是 $p_C = 1 - \frac{C_2}{T - C_2}$， $p_C = 1 - \frac{C_2}{T + C_2}$

这一计算结果表明贷款银行收贷力度与借款企业还债企图之间的重要关系。两者在相互揣摩对方的倾向，从 $p_C = 1 - \frac{C_2}{T - C_2}$ 可看出，企业配合程度越低，需要银行付出的退出努力越高，即企业的还款意愿越差，从 $p_C = 1 - \frac{C_2}{T + C_2}$ 来看，企业认为银行信贷退出的可能性 p_b 越大，银行需要实际付出的退出努力越小。可见，在面临信贷风险时，我国商业银行的内部评级制度及其制度的彻底执行时至关重要的，同时在的内部评级系统的构建中必须要充分考虑上述因素。

3.2　贷款结构不合理

随着地方性政府长期介入国有商业银行贷款分配，国有商业银行的贷款过于集中于中长期贷款，贷款组合结构性失衡。据中国人民银行统计，2009 年末，国有商业银行的中长期贷款为 116 868.67 亿元，占贷款总额的 67.5%，至 2010 年末，中长期贷款达 145 135.94 亿元，占贷款总额 71.2%。可见，中长期贷款不仅占国有商业银行贷款比重很大，而且呈逐年递增的趋势。这不仅导致银行资产流动性降低、资金周转困难，虽然中长期贷款可以暂时缓解风险的到来，但是增加了潜在的信贷风险，由于企业自身的经营效益波动起伏，难以预测，最终形成银行难以收回的滞账、呆账，这就较普通商业银行，增加了信贷风险，不利于国有商业银行的长期发展。

其次，据统计中国四大国有商业银行集中了银行业 80%左右的信贷资金，且这四大国有商业银行 80%的贷款发放给了只占经济总量约 40%的国有大企业，并且国有企业的盈利能力逐年下降，破产成本高。这使我国商业银行每年巨额资金投资偏向严重伤害了企业的融资能力，其后果是经济效益好的私营个体企业得不到贷款，或贷款成本过高，而经济效益差的企业则可以通过贿赂或政府保护容易获取商业银行信贷资金，这显然是一种典型的逆向选择行为。

3.3 忽视员工素质和企业文化建设

在内部控制制度的制定和执行中，银行只注重各种业务操作能力的培养，而忽视了对人素质培养，尤其是忽视了信贷员的道德价值观的培养和提高，部分信贷人员素质不高，难以进行贷款的科学决策和有效管理，违规放贷时有发生；在执行信贷政策方面，有的信贷人员缺乏开拓创新精神，工作随意性很大，存在“人情代替制度”、“在其位而不谋其职”现象，甚至蓄意营私舞弊、违规违纪、违法犯罪，引起不良贷款的形成。信贷人员除了必须具备一定的金融理论、企业财务管理、法律制度等业务知识外，还必须具有诚实的品格和强烈的责任心。其次，在内部控制制度建设中，忽视企业文化特别是风险管理文化的建设。全面风险管理不仅是一种管理组织和秩序、方法，而且是一种企业文化，这种文化只有深入到商业银行的每一个部门和每一个工作人员中，才会形成规范的体系。

4 国有商业银行信贷风险规避对策

4.1 重新界定政府角色和职能

政府一直以政客和股东双重身份，穿梭于国有商业银行和社会之间。政企不分、产权模糊，政府干预行为和地方保护主义，这些是一直困扰银行自身发展致命因素。必须重新严格界定政府的角色和职能，如果政府的角色不从市场干预者转向市场监管者，国有商业银行的信贷风险是不会从根本上降低的。

在股份制改革中，要改变国有商业银行的信贷现状，必须从产权结构改革入手，建立现代商业银行制度。政府要放手对银行的政治控制权，不要干预市场配置，要放松金融管制，促进金融创新能力，维护市场公平，以建成产权明晰、责任对等的法人治理结构，比较完善的多元化股份制银行。

同时政府要发挥市场监督者的作用，防范和规制债务逃逸的企业，对企业改制中兼并、 重组、破产等跟踪监督，健全企业信息披露，改变信息不对称的状况，以稳定金融行业资产运行。这样才能使国有商业银行真正的私有化、公司化，提高自身竞争力，适应当今各种挑战。构筑以“人民银行从严监管、金融机构自我控制、金融行业和政府共同监督”为框架的“四位一体”监管体系。

4.2 增加市场自由开放度

随着我国资本市场逐步开放，社会总体利润增加，中资银行赢利能力弱、外资银行赢利能力强。为了适应这些竞争和挑战，政府必须全力去营造一个完全开放、自由竞争金融市场。当然，政府首先要在人事聘任方面，政府要对国有商业银行释放权力，采取自由责任制聘任方式。银行应自由聘任那些既具有丰富的经营银行的专业知识和技能，又具有战略眼光、能把握产业动向的人才担任上市国有商业银行的高层管理者。只有这样，才有可能避免和抑制因行政主管部门派遣管理者而导致管理层的权力超越股东和董事会的现象。使“内部人控制”现象长期困扰国有商业银行“委托——代理”难题得以妥善解决，也使非理性配置信贷资金的行为得到有效控制。

要逐步放松银行业市场准入的限制，加快利率市场化的进程，建立以市场为导向的国有与非国有地区性的金融机构，使金融市场上存在独立的、规模合理的、相当数量的中小金融机构以及国外银行，从而建立起竞争性的金融体系。这不仅有利于强化信贷资金配置的市场性，使国有商业银行不断汲取国外一流商业银行的先进风险管理机制和技术，提高国有商业银行的经营能力，促进金融市场有效竞争的形成。

4.3 加强贷前控制和监控体系建设

信贷风险的控制贯穿于银行整个信贷投放的过程，其中包括贷前的预警以及控制手段，贷后的合理、全面地跟踪和监控措施。国有商业银行相对于其他金融机构在这些体系建设中还存在很多漏洞，需要从以下这些方面来改善。

首先，对于风险贷前控制要从两方面来开展：第一，建立完善、先进的预警系统。可以借鉴国外先进的风险计量模型，设计符合国有商业银行的模型框架和参数体系，构建信贷风险度量模型并且建立大规模的基础数据库，以保证信用风险管理工具的数据需要；通过建立一支专业化水平的风险评级团队，利用国外先进商业银行的评级手段，来不断完善和更新内部评级系统，将风险控制在设定承受的范围之内，尤其要加强高级计量方法的研究，以精确预测银行损失率。这样，可以根据不同的客户情况，在贷后风险处置时选择最佳的规避手段，以大大降低风险度。第二，严格规范信贷审核、评估程序。由于国有商业银行信贷审核程序漏洞较多和缺乏约束机制，信贷员徇私舞弊现象严重，引发大量不良资产。因此，要建立一套标准化、可行性强的审核程序，信贷部门的审贷要分离，权利要分散，信息要透明化。

其次，完善银行监控体系。国有商业银行人事职能安排错位，权利过于集中化，对稽核监督系统监管分支机构的经营，由于稽核部、监察部的职责难以界定，没有独立性，导致无法监控全行风险。其次，监控方式过于单一，过于死板。因此，完善国有商业银行的监控体系，就要有合理的人事安排和权利分配，逐步实现私有化、公司化的人事结构，同时，可以实行流水式的、不定期的检查和评价监控手段，从实质上提高监控能力。

4.4 改善信贷结构、分散风险

前面已经提到国有商业银行的信贷投放过于集中化，长期以来都有三大特征，“大项目、上市公司、国有企业”。在地方政府的干预下，集中贷款给这些垄断企业、上市集团、国有企业，还包括其他慈善性质的项目，加之国有企业这几年的盈利下降，破产成本很大，出现资不抵债，这些风险全部都转嫁到银行身上。国有商业银行要扩大投资范围，把资金分散到中小企业上，以及其他新兴行业，以分散风险。另外，国有商业银行的资金过于长期化，为了优化信贷结构，平衡风险，银行同时也要注重短、中、长期的贷款分配比例。具体可以从三个方面来展开：一是金额分散，指国有商业银行对某一客户，尤其是对国有企业授信控制在一定额度内。二是行业分散，指银行选择多个行业领域来投放资金，避免过于集中某一产业。三是时间分散，降低资产的平均期限或提高短期资产的比重，均衡分配贷款时间，以增加资产流动性以防范信用风险。

4.5 植入健康的信贷文化

信贷文化是银行经营成败、长期稳定发展的至关重要的因素。在银行内部，要营造风险控制氛围，植入“以诚为本”的健康文化于每个员工心中，把银行发展和自身发展相结合，推行贷款责任人制度，严格执行信贷审核流程。同时信贷风险涉及银行多个业务部门和员工，风险管理需要全员的参与和各部门的协同配合，建立以风险控制为核心的信贷文化，从信贷员到各个管理层，强化风险意识，防范意识和责任意识。逐步淡化对国家以往的依赖心态，贷前在信贷审核和风险评估上严格把关，贷后积极参与跟踪、监督、沟通等工作，主动承担风险损失，杜绝以往“只放不管”的做法。这样才能建立一个和国有商业银行发展相匹配的健康信贷文化。

参考文献

[1] 杨洁. 规避国有商业银行信贷风险[J]. 地方财政研究，2010(11)

[2] 张同耀. 国有商业银行信贷风险研究[J]. 经济导刊，2008(5)

[3] 王勇，廉兴国. 信贷结构优化与提升商业银行信贷能力探析[J]. 金融发展研究，2010(11)

[4] 黄祖斌. 中国银行业信贷能力简析[J]. 银行家，2009(12)

[5] 孙玲娜. 我国商业银行信贷风险监控干扰因子与成因探析[J]. 西部论坛增刊，2010(2)

[6] 常巍. 国有商业银行风险研究[M]. 北京：中国财政经济出版社，2007

[7] 朱启贵. 货币银行学[M]. 上海：上海人民出版社，2010
[8] 闫红玉. 商业银行信贷与营销[M]. 北京：清华大学出版社，2009
[9] 周脉伏，成琴，葛大江. 信贷风险管理[M]. 成都：西南财经大学出版社，2009

The National Commercial Bank Credit Crisis Causes and Evading Measures

YANG Qian，MEI Hong-chang
(Chongqing Technology and Business University，Chongqing，400067，China)

Abstract: As the financial most important carrier，the national commercial bank's development and evolution caused widespread concerns. Along with the development of the reform of national commercial Banks，different economic system and external environment changes，all influenced the national commercial bank credit risk’s formation and accumulation to different extent. This paper respectively from the government and bank two angles analyze the national commercial bank credit risk’s special reasons，and use the credit exit game-theory to support. At last，put forward some related risks evading measures to the problem.

Keywords: credit risk; bank; government; evading measures

逃汇与资本管制的博弈分析

滑　青[1]　陈　科[2,3]　应益荣[1]
（1. 上海大学经济学院　上海　200444;
2. 重庆交通大学财经学院　重庆　400074;
3. 上海大学管理学院　上海　200444）

摘　要：金融危机的爆发，使得逃汇、套汇、套利现象频繁发生，尤其是在网络时代，智能升级使得逃汇、逃汇现象速率加快。本文通过建立数学模型，运用博弈论方法对逃汇现象进行了博弈分析，从理论上探讨了逃汇动机与资本管制效力下降的原因。

关键词：逃汇；资本管制；混合战略纳什均衡

0　引言

金融危机的爆发使得资本在国际间流动频繁，国内利率与国际利率的差异使得逃汇、套汇与套利现象严重，所以一国政府往往倾向于实施严格而有效的资本管制，以提高投资者逃汇（套汇）的成本。虽然严格的资本管制扭曲了利率平价理论，也限制了部分资本的自由流动，但投资者并未停止逃汇（套汇）行为，这主要取决于逃汇所获得的风险收益是否高于逃汇成本。基于网络支付的电子商务因其成本优势和交易便捷得到飞速发展，但同时也正嬗变为逃汇、套汇、套利的温床。逃汇者在第三方网络支付等网络化、电子化的交易平台中不断搜寻自己的活动空间，企图游离于金融监管体系之外。因此，若政府实施资本管制的威胁使逃汇（套汇）的机会成本高于其风险收益，则投资者会放弃逃汇（套汇）；反之，投资者会继续选择逃汇。此外，随着网络交易的发展，政府惩罚速率和投资者逃汇速率都不断加快，一段时间的博弈次数不断增加，使两者的动态博弈过程不断智能升级。

政府与投资者之间的这种博弈并不存在纳什均衡，因为两者行为缺乏合作，所作决策也不是纯粹选择，很难预测其动态博弈结果。Rosinger（2005）曾指出[1]：习惯认为博弈论中著名的纳什均衡定理是非合作博弈的典范，但研究结果表明纳什均衡本质上是基于一个特别强合作的假设，而实践中这一合作假设是根本不现实。而Karafyllis，Jiang和Athanasiou（2010）[2]首次引入现代数学控制理论中的小增益（small-gain）技术，导出由泛函差分模型描述的动态博弈理论模型的纳什均衡点的渐进稳定性条件，表明动态博弈结果在一定条件下是可预测的。因此，可选择恰当的博弈论模型分析资本管制与逃汇（套汇）之间的关系。

博弈论方法已经成为金融学中常有的分析方法之一[3,4]。针对我国政府实施资本管制与投资者选择逃汇的问题，孔刘柳（1999）和尹佳璇（2005）曾构建混合战略纳什均衡模型，根据政府管制概率或投资者逃汇概率，分析两者的博弈过程[5,6]。他们的研究表明混合战略纳什均衡模型就是一种比较有效博弈论模型，但他们的模型并未考虑“网络交易加速”因素，与网略时代的现实情况有差距，需进一步改进。因此，本文将在他们研究的基础上，建立包含“智能升级”因素的混合战略纳什均衡来分析外汇管理局审查与逃汇者之间的博弈。

基金项目：教育部规划基金项目(10YJA790233);上海大学研究生创新基金项目(SHUCX112376)

滑青（1986-），女，河北石家庄人，硕士研究生，主要研究方向：金融学；陈科（1969-），女，四川达县人，副教授，博士研究生，主要研究方向：金融工程；应益荣（1961-），男，江西上饶人，教授，博士生导师，主要研究方向：金融工程

1　模型变量的设置

c——对单位逃汇（套利）资本的审查成本

p——对单位逃汇（套利）资本的惩罚

d——单位逃汇（套利）资本对我国的危害

R_h——国内银行存款利率，主要是由国内金融政策、发展计划以及经济形势等因素决定的

R_f——国际金融市场利率，由国际金融市场决定的

e_0——期初汇率，直接标价法下

F——表示公众对期末汇率的预期

π——外汇管理局对资本流动的审查概率

β——资本拥有者逃汇（套利）的概率

δ——资本拥有者对风险的规避报酬

2　逃汇与资本管制分析

2.1　一般模型分析

参照孔刘柳（1999）[5]和尹佳璇（2005）[6]的研究，首先对逃汇与套利同样的区分：用于逃汇的资本拥有者是国内居民，而用于套利的资本拥有者是外国居民，这是针对我国的具体情况而言的；其次，我国作为经济转型国家，有 $R_h > R_f$，逃汇者可以根据对人民币汇率的预期作出对自己有利的判断。于是，我们假设国内消费者有 1 元，可做两个选择：

一是将 1 元投放于国内金融市场，一年后获得本金和利息为 $1+R_h$ 元，其收益率是 R_h；

二是将这 1 元人民币通过非法渠道兑换成外币投资到国外。若 1 元人民币通过非法渠道兑换的外币数量是 $1/e_0$，将 $1/e_0$ 数量的外币存入国外银行，则一年后获得本金和利息为 $\left(1/e_0\right)\left(1+R_f\right)$ 数量的外币；再通过非法途径按预期的汇率 F 将外币兑换成 $\left[\left(1/e_0\right)\left(1+R_f\right)\right]F$ 数量的人民币。其收益率是 $\left[\left(1/e_0\right)\left(1+R_f\right)\right]F-1$。

孔刘柳(1999)从理论上推导出逃汇现象发生的必要条件是[5]

$$\frac{F-e_0}{e_0} > \frac{R_h-R_f}{1+R_f} \tag{1}$$

当逃汇者具有风险规避性时，逃汇现象发生的必要条件变为

$$\frac{F-e_0}{e_0} > \frac{R_h-R_f}{1+R_f}+\delta$$

由此可见，逃汇动机随 R_f 的增加而增加，随 R_h 的增加而减少，即便 $R_h > R_f$，只要 F 足够大，即预期本币将要贬值时，上述条件就可以成立，逃汇现象就有可能发生。逃汇收益率为

$$L_A = \frac{1+R_f}{e_0}\times F-1 = R_f+(1+R_f)\frac{F-e_0}{e_0}$$

2.2　博弈模型分析

在现代经济社会，网络的高速发展也为投机者逃汇、套汇创造了条件。逃汇者利用网络使其逃汇智能升级的速率加快，同时，惩罚的升级速率也会加快。接下来的分析中，我们引入智能升级，来分析逃汇的博弈模型。

记 m_1 为逃汇者的智能逃汇升级的速率，m_2 为对逃汇资本的惩罚的升级速率。考虑长度为 T 的周期，期初

对逃汇资本的审查成本为 c_0，期末对逃汇资本的审查成本为 c_1，则 $c_1 = c_0 e^{m_1 T}$；期初对逃汇资本的惩罚额度为 p_0，期末对逃汇资本的惩罚额度为 p_1，则 $p_1 = p_0 e^{m_2 T}$。

在该周期内，总的审查成本为

$$c = \int_0^T c_0 e^{m_1 t} dt = \frac{T\left(c_1 - c_0\right)}{\ln c_1 - \ln c_0} = \frac{c_0(e^{m_1 T} - 1)}{m_1} = \frac{c_1 - c_0}{m_1}$$

平均成本为

$$\overline{c} = \frac{1}{T}\int_0^T c_0 e^{m_1 t} dt = \frac{c_1 - c_0}{T m_1}$$

总的惩罚额度

$$p = \int_0^T p_0 e^{m_2 t} dt = \frac{T\left(p_1 - p_0\right)}{\ln p_1 - \ln p_0} = \frac{p_0(e^{m_2 T} - 1)}{m_2} = \frac{p_1 - p_0}{m_2}$$

平均惩罚额度为

$$\overline{p} = \frac{1}{T}\int_0^T p_0 e^{m_2 t} dt = \frac{p_1 - p_0}{T m_2}$$

资本管制与逃汇之间的博弈模型可以看成是一种混合战略纳什均衡，支付矩阵如下表所示。

逃汇者

		逃汇	不逃汇
国内外汇管理局	审查	$\frac{m_1\left(p_1 - p_0\right) - m_2\left(c_1 - c_0\right)}{T m_1 m_2}, \frac{p_0 - p_1}{T m_2}$	$\frac{c_0 - c_1}{T m_1}, R_h$
	不审查	$-d, R_f + (1 + R_f)(F - e_0)/e_0$	$0, R_h$

以 π 表示对逃汇的审查概率，β 表示为逃汇者的逃汇概率，国内外汇管理局选择审查（π =1）和不审查（π =0）的期望收益为 $U_A(\pi, \beta)$ 分别为

$$U_A(1, \beta) = \left(p - c\right)\beta - c\left(1 - \beta\right) \tag{2}$$

$$U_A(0, \beta) = -d\beta + 0 = -d\beta \tag{3}$$

令（2）、(3)二式相等，得出

$$\beta^* = \frac{\overline{c}}{\overline{p} + d} = \frac{m_2\left(c_1 - c_0\right)}{m_1(p_1 - p_0 + T m_2 d)} \tag{4}$$

分别对 c, p, d 求偏导，得出

$$\frac{\partial \beta^*}{\partial m_1} = -\frac{m_2\left(c_1 - c_0\right)}{{m_1}^2(p_1 - p_0 + T m_2 d)} < 0$$

$$\frac{\partial \beta^*}{\partial m_2} = \frac{\left(c_1 - c_0\right)\left(p_1 - p_0\right)}{m_1(p_1 - p_0 + m_2 d)^2} > 0 \tag{5}$$

式（4）表示，外汇管理局选择审查与否的临界点是，逃汇者的逃汇概率是否大于 β^*：若逃汇者的逃汇概率大于 β^*，外汇管理局的最优选择是审查；而当逃汇者的逃汇概率小于 β^* 时，外汇管理局的最优选择是不审查。当 m_2 变得越大时，p 越小，β^* 越大，即外汇管理局所允许的逃汇概率也就越大，则有管制越松，逃汇的动机也就越大。当 m_1 越大时，c 越小，β^* 越小，即外汇管理局所允许的逃汇概率也就越小，即则有管制越严格，此时逃汇者的逃汇动机也就越小。

给定 π ，逃汇者选择逃汇或不逃汇的期望收益 $U_B(\pi,\beta)$ 分别为

$$U_B(\pi,1)=-\bar{p}\pi+\left[R_f+\left(1+R_f\right)\left(F-e_0\right)/e_0\right](1-\pi) \quad (6)$$

$$U_B(\pi,0)=R_h\pi+R_h\left(1-\pi\right)=R_h \quad (7)$$

令（6）、（7）二式相等，得出

$$\pi^*=\frac{R_f-R_h+(1+R_f)\left(F-e_0\right)/e_0}{\left(p_1-p_0/Tm_2\right)+R_f+(1+R_f)\left(F-e_0\right)/e_0} \quad (8)$$

π^* 的大小决定了外汇管理局审查动机的大小，一般情况下，有下列关系式成立：

$$\frac{\partial\pi^*}{\partial R_f}=\frac{1+\left(F-e_0\right)/e_0}{\left[\left(p_1-p_0/Tm_2\right)+R_f+(1+R_f)\left(F-e_0\right)/e_0\right]^2}>0$$

$$\frac{\partial\pi^*}{\partial R_h}=-\frac{1}{\left(p_1-p_0/Tm_2\right)+R_f+(1+R_f)\left(F-e_0\right)/e_0}<0$$

$$\frac{\partial\pi^*}{\partial R_h}=-\frac{T\left[R_f+(1+R_f)\left(F-e_0\right)/e_0\right]}{\left\{\left(p_1-p_0\right)+Tm_2\left[R_f+(1+R_f)\left(F-e_0\right)/e_0\right]\right\}^2}<0$$

$$\frac{\partial\pi^*}{\partial R_f}=\frac{1+R_f}{\left[\left(p_1-p_0/Tm_2\right)+R_f+(1+R_f)\left(F-e_0\right)/e_0\right]^2}>0 \quad (9)$$

式（9）表示若外汇管理局的审查概率小于 π^*，逃汇者的最优选择是逃汇。从中也可以得出，当国际金融市场的利率大于国内金融市场的利率时，即预期本币贬值越大时，外汇管理局越应该加强管制的力度。但是，即便是国内利率高于国际利率时，也不代表可以完全放弃审查。由式（9）中得出惩罚的力度越强，逃汇者的动机越小。

3 结论

本文从经济博弈的角度出发，考虑现代网略交易发展迅速导致资本管制与逃汇“智能升级”，建立了博弈数学模型，分析了逃汇与审查成本、审查概率以及违规概率和违规风险等因素的关系，以及逃汇与套利资本流动的动机和资本管制效力下降的原因。经常项目的开放为逃汇和套利资本流动提供了隐蔽的渠道，从而加大了管制者的审查成本，在信息网络时代，智能升级也会使管制者的审查成本加大，这些方面的原因都会增加逃汇的产生。

从博弈分析的结果看，为了抑制逃汇现象的发生，可以从提高国内利率、减小审查的成本、降低公众对汇率的预期和加大惩罚力度这几方面着手。从长远来看，我们要调整国内经济结构，维持公众信心，加强金融法制，打击非法资本流动。

参考文献

[1] Elemer E Rosinger. The Nash-Equilibrium Requires Strong Cooperation [R]. MPRA Paper, 2005

[2] Iasson Karafyllis, Zhong-Ping Jiang, George Athanasiou. Nash Equilibrium and Robust Stability in Dynamic Games: A Small-Gain Perspective [R]. MPRA Paper, 2010

[3] Zhanwen Ding, Guiping Shi. Cooperation in a dynamical adjustment of duopoly game with incomplete information [J]. Chaos, Solitons & Fractals, 2009, 42(2): 989-993

[4] Hai Lin, Dong-Ping Yang, J.W. Shuai. Cooperation among mobile individuals with payoff expectations in the spatial prisoner’s dilemma game [J]. Chaos, Solitons & Fractals, 2011, 44(1-3): 153-159

[5] 孔刘柳. 违规资本流动与资本管制的博弈分析[J]. 财经研究，1999，（6）：23-26

[6] 尹佳璇. 中国资本管制有效性的博弈分析[J]. 北方经济，2005，(12)：62-64

Game Analysis on Evasion of Foreign Exchange Versus Capital Control

HUA Qing[1], CHEN Ke[2,3], YING Yi-rong[1]

(1. College of Economics, Shanghai University, Shanghai 200444, China; 2. College of Finance & Economics, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China; 3. College of Management, Shanghai University, Shanghai 200444, China)

Abstract: Financial crisis make the evasion, arbitrage phenomenon occurred frequently, especially in the Internet age, smart upgrade accelerated the phenomenon of evasion. In this paper, we set a mathematical model, using game theory to analysis the phenomenon of evasion, to discuses the motivation of evasion and the decline of effectiveness of capital controls.

Keywords: evasion; capital control; mixed strategy Nash equilibrium